

**MODELACIÓN HIDRODINÁMICA PARA LA DETERMINACIÓN DE
ALERTAS TEMPRANAS POR INUNDACIÓN EN LA ECOREGIÓN DE LA
MOJANA - NECHÍ, ANTIOQUIA**

YURI ALEJANDRA CAICEDO PAEZ



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ
2017**

**MODELACIÓN HIDRODINÁMICA PARA LA DETERMINACIÓN DE
ALERTAS TEMPRANAS POR INUNDACIÓN EN LA ECOREGIÓN DE LA
MOJANA - NECHÍ, ANTIOQUIA**

YURI ALEJANDRA CAICEDO PAEZ

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Recursos Hídricos

**Directora
Paula Andrea Villegas González
Ingeniera Civil**

**Asesor Externo
Víctor Alfonso García Eraso
Ingeniero Civil**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ
2017**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5 CO)

Esto es un resumen legible por humanos del [Texto Legal \(la licencia completa\)](#).

[Advertencia](#)

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Ing. PAULA ANDREA VILLEGAS GONZÁLEZ
Directora de Proyecto

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 16 de Junio de 2017

DEDICATORIA.

A Dios por iluminar mi camino, para así permitirme alcanzar mis sueños y objetivos.

A mis papas, mi hermana, Sebastián y mi hermano, por el ejemplo y amor que me han brindado día a día, por su apoyo Incondicional para poder lograr mis metas este año de estudio.

A mi directora Paula por su apoyo siempre en mis proyectos, compartiendo sus conocimientos y su compañía para poder desarrollar mi trabajo de grado.

Finalmente, quiero agradecer a mis compañeros de la universidad, con quienes compartí gratos momentos.

Yuri Alejandra Caicedo Paez

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| TABLA DE CONTENIDO | 6 |
| GLOSARIO | 11 |
| RESUMEN | 12 |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1. ANTECEDENTES | 14 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 2.2 OBJETIVO GENERAL..... | 15 |
| 2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 15 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 16 |
| 4. ESTADO DEL ARTE SOBRE MODELACIÓN HIDRODINÁMICA | 17 |
| 4.1 “LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA PARA LA GESTIÓN HÍDRICA DEL EMBALSE DEL GUÁJARO, COLOMBIA” | 17 |
| 4.2. “MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL TRAMO MEDIO DEL RÍO CTALAMOCHITA, PROVINCIA DE CÓRDOBA” | 18 |
| 4.3“LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ANÁLISIS DE RIESGO DE AMÉRICA LATINA” | 18 |
| 4.3.2 “TERRITORY VULNERABILITY ASSESSMENT FRAME IN COLOMBIA: DISASTER RISK MANAGEMENT” | 19 |
| 4.4 CONCLUSIONES | 19 |
| 5. CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO | 20 |
| 5.1 UBICACIÓN | 20 |
| 5.2 CLIMA | 21 |
| 5.3 POBLACIÓN | 21 |
| 5.4 CONDICIONES DE VIDA | 22 |
| 5.4.1 EDUCACIÓN | 22 |
| 5.4.2 SALUD | 24 |
| 5.4.2.1 RECURSOS DE LA SALUD | 26 |
| 5.4.3 VIVIENDA..... | 27 |
| 5.4.3.1 SERVICIOS PÚBLICOS..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 5.4.5. VÍAS | 35 |
| 5.4.6 INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO | 36 |
| 5.4.6.1 RÍO CAUCA | 38 |
| 5.4.6.2 RIO NECHÍ..... | 39 |
| 5.5 ENTREVISTAS POBLADORES DEL MUNICIPIO DE NECHÍ | 40 |
| 5.5.1 Encuesta N° 1. | 40 |
| 5.5.2 Encuesta N° 2. | 41 |
| 5.5.3 Encuesta N° 3 | 41 |
| 5.5.4 Encuesta N° 4 | 41 |
| 5.5.5 CONCLUSIONES | 42 |
| 6. MODELACIÓN HIDRODINÁMICA | 43 |
| 6.1 PLATAFORMA IBER..... | 43 |
| 6.1.1 ECUACIONES DE GOBIERNO..... | 43 |
| 6.1.2 DESARROLLO DE LA MODELACIÓN (PREPROCESAMIENTO) | 46 |
| 6.1.2.1 MODELO DIGITAL DEL TERRENO..... | 46 |
| 6.1.3 ZONA DE ESTUDIO..... | 48 |
| 6.1.3.1 CONDICIONES DE CONTORNO | 49 |
| 6.1.3.2 PERIODO DE RETORNO | 49 |
| 6.1.3.3 INFORMACIÓN DE CAUDALES..... | 49 |
| 6.1.3.4 RUGOSIDAD..... | 54 |
| 6.1.3.5 DETERMINACIÓN DE LA MALLA..... | 56 |
| 6.1.3.6 PARÁMETROS NUMÉRICOS..... | 58 |
| 7. PROCESAMIENTO | 59 |
| 7.1 MODELACIÓN | 59 |
| 7.1.1 ANÁLISIS DE MALLA DE CÁLCULO | 60 |
| 7.1.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN..... | 61 |
| 7.1.3 DINÁMICAS DE INUNDACIÓN..... | 61 |
| 7.1.4 RESULTADOS DE AGUA ESCENARIO 1 | 62 |
| 7.1.4.1 RESULTADOS DE AGUA ESCENARIO 2 | 65 |

| | |
|--|----|
| 7.1.4.2 RESULTADOS DE AGUA ESCENARIO 3 | 67 |
| 7.1.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS..... | 70 |
| 8. ANÁLISIS PARA LA TOMA DE DECISIONES DE ALERTAS TEMPRANAS..... | 72 |
| 8.1 EDUCAR | 73 |
| 8.2 REGLA DE MEDICIÓN..... | 74 |
| 8.3 VIVIENDAS PALAFÍTICAS..... | 76 |
| 8.4 ANÁLISIS DE AMENAZA | 78 |
| CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO | 80 |
| TRABAJO FUTURO | 82 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 83 |

TABLA DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Población..... | 22 |
| Ilustración 2. Nivel de educación | 23 |
| Ilustración 3. Desarrollo de la modelación | 46 |
| Ilustración 4. Generación de escenarios..... | 62 |
| Ilustración 5. Respuesta sistemas de alertas..... | 73 |
| Ilustración 6. Respuesta de educación | 73 |
| Ilustración 7. Alertas | 75 |
| Ilustración 8. Análisis de amenaza..... | 78 |

TABLA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación Geográfica del Municipio de Nechí. | 20 |
| Figura 2. Colegio del municipio..... | 23 |
| Figura 3. Entrega de medicamentos | 24 |
| Figura 4. Desecho de basuras del municipio | 25 |
| Figura 5. Desecho de aguas negras de las casas | 25 |
| Figura 6. Brigadas de salud | 26 |
| Figura 7. Niños con infecciones | 27 |
| Figura 8. Ubicación de la población | 28 |
| Figura 9. Casas a orillas del río | 28 |
| Figura 10. Vivienda a orillas del río..... | 29 |
| Figura 11. Viviendas improvisadas | 30 |
| Figura 12. Viviendas urbanas | 30 |
| Figura 13. Viviendas urbanas afectadas por la inundación..... | 31 |
| Figura 14. Ganadería en Nechí..... | 33 |
| Figura 15. Ganadería Nechí..... | 33 |

| | |
|---|----|
| Figura 16. Actividades pesqueras..... | 34 |
| Figura 17. Estado de las vías del municipio..... | 36 |
| Figura 18. Inundación de las vías | 36 |
| Figura 19. Inundaciones en el municipio..... | 37 |
| Figura 20. Desbordamiento del río..... | 38 |
| Figura 21. Unión de los ríos de Cauca y Nechí..... | 39 |
| Figura 22. Selección de área MDT | 47 |
| Figura 23. Selección Dominio | 47 |
| Figura 24. Imagen ubicación estaciones..... | 48 |
| Figura 25. Proceso datos hidrológicos..... | 51 |
| Figura 26. Caudales en el modelo. | 54 |
| Figura 27. Clasificación de Manning | 55 |
| Figura 28. Superficies Iber | 56 |
| Figura 29. Generación de malla de cálculo..... | 57 |
| Figura 30. Información malla de cálculo | 58 |
| Figura 31. Área de estudio..... | 59 |
| Figura 32. Autonomía de malla | 60 |
| Figura 33. Rompedero nuevo mundo | 61 |
| Figura 34. Lamina de agua Tr 15 años sin Dique | 63 |
| Figura 35. Laminas de agua Tr 15 años | 63 |
| Figura 36. Velocidad Sin Dique..... | 64 |
| Figura 37. Velocidad Con Dique | 65 |
| Figura 38. Lámina de agua Tr 100 años | 66 |
| Figura 39. Velocidad Tr 100 años | 67 |
| Figura 40. Lámina de agua Tr 500 años | 68 |
| Figura 41. Velocidad de 500 años | 69 |
| Figura 42. Comparación de resultados nivel de agua..... | 70 |
| Figura 43. Comparación de resultados de velocidad | 71 |
| Figura 44. Regla de medición | 75 |
| Figura 45. Ubicación de las reglas de medición | 76 |
| Figura 46. Viviendas paratíficas..... | 77 |
| Figura 47. Ubicación de viviendas | 77 |
| Figura 48. Simulación con agentes..... | 82 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Datos vivienda y población | 27 |
| Tabla 2. Información estaciones | 48 |
| Tabla 3. Información datos de entrada | 50 |
| Tabla 4. Calculo de caudales..... | 51 |
| Tabla 5. Comprobación de Caudales Estación Margento E1 | 52 |
| Tabla 6. Resultados de comprobación E. Margento E1..... | 53 |
| Tabla 7. Comprobación de Caudales Estación La Esperanza | 53 |
| Tabla 8. Resultados de comprobación E. La Esperanza E2..... | 54 |
| Tabla 9. Información de rugosidad..... | 55 |
| Tabla 10. Análisis de resultados | 71 |

GLOSARIO

- **DESASTRE NATURAL:** ocurrencia de un fenómeno natural en un espacio y tiempo limitados que causa trastornos en los patrones normales de vida y ocasiona pérdidas humanas, materiales y económicas debido a su impacto sobre poblaciones, propiedades, instalaciones y ambiente.
- **IBER:** es un modelo bidimensional de flujo en lamina libre y para aguas poco profundas, realiza el cálculo de los niveles de agua, velocidades de ríos, canales y llanuras de inundación. Permite evaluar el riesgo por inundaciones y dinámica pluvial.
- **INUNDACIONES:** las inundaciones pueden definirse como una irrupción lenta o violenta de aguas de río, lagunas o lagos, debido a fuertes precipitaciones fluviales o rupturas de embalses, causando daños considerables. Se pueden presentar en forma lenta o gradual en llanuras y de forma violenta o súbita en regiones montañosas de alta pendiente. Es un fenómeno natural, por el cual el agua cubre los terrenos, llegando en ciertas ocasiones a tanta altura que puede dejar sumergidas viviendas, calles, destruir cosechas, con peligro incluso vital para toda la población que habite el lugar, y enormes pérdidas económicas.
- **MODELO HIDRODINÁMICO:** un modelo hidrodinámico permite simular las dinámicas del agua superficial en un territorio, es una herramienta fundamental que facilita el estudio de comportamiento hidráulico conociendo la topografía del terreno.
- **MODELO DIGITAL DE TERRITORIO:** un MDT es la representación de la topografía de un territorio, herramienta fundamental que facilita el estudio de comportamiento hidráulico conociendo la topografía del terreno.
- **SISTEMAS DE ALERTAS TEMPRANAS:** la alerta temprana es uno de los principales elementos de reducción de riesgo de desastres, evita la pérdida de vidas y permite disminuir los impactos económicos y materiales de los desastres, donde se facilita la educación y la concientización de las personas sobre tal riesgo.
- **RIESGO:** el riesgo es la situación donde se puede estar en peligro, ya sea porque se ven afectados por un evento que permita estar en desventaja frente a una amenaza.
- **AMENAZA:** la amenaza es un evento natural o causado por la acción humana, que presenta fuertes condiciones como pérdida de vidas, en la salud, infraestructura de viviendas, de carreteras,
- **VULNERABILIDAD:** la vulnerabilidad es la incapacidad de una persona o un grupo para enfrentarse a un evento natural o antropogénico.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación plantea el desarrollo de un modelo hidrodinámico para la determinación de alertas tempranas en la ecoregión de la Mojana, específicamente en el municipio de Nechí – Antioquia (Colombia), siendo un conector de investigación para continuar los estudios de maestría. Se realiza la mancha de inundación en el territorio, donde se tiene en cuenta la topografía de la zona, las condiciones hidrológicas, las características de la población y las coordenadas a analizar.

Esta modelación se realiza en el programa Iber y estudia el comportamiento del río, generando varios escenarios en tiempo real. Permitiendo brindar una solución, observación o sugerencia a la problemática que presenta el municipio.

Finalmente, a partir de la ejecución de la modelación hidrodinámica, se identifican situaciones que ocurren dentro del territorio afectado por la inundación, permitiendo facilitar con este tipo de herramientas en los planes de ordenamiento territorial. Se permite identificar zonas en riesgo para la generación de mecanismos de alertas tempranas, estrategias como educación, medición constante de los niveles de los cauces y cambio de viviendas para los habitantes. Con base en esta información se permite tomar decisiones frente a estos hechos, que puede ser tomada en cuenta para la alcaldía y los habitantes de la zona.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como finalidad dar continuidad a la investigación desarrollada en el año 2015, basada en la simulación con agentes en la ecoregión de la Mojana. De acuerdo al desarrollo de la simulación se plantea la modelación hidrodinámica para la determinación de alertas tempranas en la ecoregión de la Mojana, con el fin de obtener datos reales en la toma de decisiones. Esta investigación se presenta durante el primer semestre del año 2017, para obtener el título de especialista en recursos hídricos.

Para el análisis de la modelación se realizó la caracterización de la zona para obtener la información que es tenida en cuenta para el planteamiento del modelo; adicionalmente se desarrolló un estado del arte que tuvo como propósito extraer información respecto a la realización de este tipo de modelos.

El proyecto se enfoca en la modelación hidrodinámica, con el apoyo de un modelo digital de territorio, para así simular la mancha por inundación. A partir de esto, se puede analizar el riesgo por inundación en el municipio.

El documento tiene específicamente cuatro capítulos. El primero tuvo como propósito analizar diferentes experiencias a nivel nacional y mundial. El segundo realizar una caracterización de la zona a trabajar. El tercero el diseño de la modelación hidrodinámica con apoyo del modelo digital de territorio en el programa Iber y finalmente en el cuarto capítulo se realiza la modelación hidrodinámica, donde se permita encontrar un sistema de alertas tempranas para la inundación.

1. ANTECEDENTES

La Mojana es una región que enfrenta cambios climáticos constantemente, presenta gran potencial productivo en recursos como: la ganadería, la agricultura y la explotación pesquera. Sin embargo, esta región presenta impactos ambientales a consecuencia de las inundaciones que afecta la economía y a los habitantes, pues se generan pérdidas en los predios agrícolas y ganaderos, afectando el progreso de la región. (Nechí, 2000)

Concretamente, debido a la situación que ha enfrentado la región en los últimos años y según lo registrado el pasado mes de mayo del año 2017 por las principales noticias del país, indican que por el desbordamiento del río Cauca y Nechí, se inundó gran parte del área urbana y rural del municipio de Nechí. El dique de contención ubicado en el corregimiento de Colorado no pudo contener la fuerza del río.

Sin embargo, dentro de la modelación son tenidos en cuenta los datos registrados por la ola invernal de mediados de 2010 e inicio de 2011, ya que es una de las temporadas invernales más fuertes que se han presentado en el país, debido a esto se manifestaron inundaciones en una parte importante del territorio.

Es por esta razón que se realiza la modelación hidrodinámica con el fin de determinar y generar los lineamientos para un sistema de alertas tempranas. Esta modelación cuenta con diferentes enfoques basados en modelos como: gestión hídrica, modelos hidrodinámicos y análisis de riesgos. Permitiendo analizar el comportamiento del territorio frente a las inundaciones en un escenario que permite evidenciar el riesgo de acuerdo a las condiciones iniciales del programa.

Este proyecto de investigación se enmarca en el trabajo doctoral de la Ingeniera Paula Andrea Villegas González sobre “Modelación integrada en la ecoregión de la Mojana” y tiene como propósito contribuir al entendimiento de las dinámicas territoriales en esta región, específicamente en el municipio de Nechí.

2. OBJETIVOS

2.2 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un proceso de modelación de modelación hidrodinámica que permita proponer los principales lineamientos de un sistema de alertas tempranas en la ecoregión de la Mojana: caso de estudio Nechí.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización de la Mojana (específicamente del municipio de Nechí) desde el punto de vista hídrico que sirva como insumo para la implementación de un modelo hidrodinámico.
- Desarrollar una modelación hidrodinámica que sirva para la determinación de un sistema de alertas tempranas.
- Formulación de lineamientos de un sistema de alertas tempranas en el marco de la gestión de riesgo por inundación en la región de la Mojana.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al uso inadecuado de los recursos naturales, se tiene como consecuencia las inundaciones que enfrenta el municipio de Nechí, esto debido a los fuertes cambios climáticos que se presentan en la región, generando de este modo lamentables afectaciones sociales y ambientales en el territorio (Nechí, 2000). Debido al mal manejo de los recursos y a la afectación por las inundaciones constantes, han aumentado los niveles de pobreza de los habitantes, obligando a la población a ocupar espacios dentro de zonas de riesgo y debido a estas circunstancias la comunidad ha aprendido a defenderse y sobrevivir tanto en tierra como en el agua (Nechí, 2000).

Según la información registrada por (CEPAL, 2012) la ola invernal del país a mediados de 2010 e inicio de 2011, se presentaron intensas lluvias, generando inundaciones, avalanchas y remociones de masa en distintas zonas del país, Por parte del Gobierno se declara una emergencia social y ambiental.

El río Cauca presentó una considerable creciente, generando aumento en la lámina de agua, afectando el municipio de Nechí y las estructuras de contención como el Dique de Nuevo Mundo.

En la región la desigualdad social ha sido marcada por los altos índices de pobreza, como se evidencia en los valores reportados por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas), para el año 2016. En este año la pobreza regional presenta el “68,1%” correspondiente al NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas que mide la cantidad de personas dentro de un territorio en condiciones de pobreza, identificando necesidades básicas como: viviendas inadecuadas, servicios sanitarios, educación e ingreso mínimo) (DANE, 2016).

4. ESTADO DEL ARTE SOBRE MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

A continuación, se presenta un estudio de análisis a nivel mundial sobre la modelación hidrodinámica y sistemas de alertas tempranas, teniendo en cuenta aspectos sociales, relacionados con recursos hídricos y medio ambiente. Este tipo de experiencias son fundamentales ya que permiten generar ideas sobre cómo realizar un análisis por inundación y estudiar cómo afecta a los habitantes del territorio. Adicionalmente se presenta distintos escenarios para la formulación de lineamientos de un sistema de alertas tempranas.

4.1 “LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA PARA LA GESTIÓN HÍDRICA DEL EMBALSE DEL GUÁJARO, COLOMBIA”

El embalse del Guájaro, ubicado en el norte de Colombia, es abastecido por el canal del Dique y durante las últimas décadas ha presentado enormes cambios, por lo cual para mejorar las estructuras hidráulicas que lo abastecen se realizó un modelo hidrodinámico en el programa Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC). Debido a los fenómenos actuales sobre el calentamiento global y a medida que ha avanzado el crecimiento poblacional, estos modelos computacionales permiten evaluar distintos escenarios que tienen como finalidad la toma de decisiones precisas. La calibración del modelo consistió en las mediciones de los niveles de agua en épocas de sequía y de lluvia, aplicándose al estudio de la variación de flujo a través de estructuras hidráulicas que permiten controlar estos niveles en la entrada y la salida del modelo. El desarrollo del modelo incluyó la comparación de los datos arrojados en la modelación con los datos que se presentan allí, donde se encuentra que en periodos de sequía los niveles son muy bajos, por lo que se deben tomar decisiones para controlar este déficit de volumen. Pero en los periodos lluviosos se deben tomar medidas por el alto nivel del volumen de agua. Además, se comprobó que dichos niveles deben ser controlados óptimamente para que no se presente riesgo en la zona. Cuando se realiza el análisis del modelo se encuentra que presenta concordancia con los datos iniciales, ya que los afluentes de entrada al embalse (arroyos de la subcuenca, captaciones de acueductos y zonas agrícolas, etc.) no son tan importantes en el “comportamiento hidráulico de la estructura, pero si es importante ya que permite determinar el flujo que va por las compuertas y como finalidad optimizarlas con el fin de mejorar el desempeño del sistema hídrico (Torres-Bejarano, Padilla Coba, Rodríguez Cuevas, Ramírez León, & Cantero Rodelo, 2016).

4.2. “MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL TRAMO MEDIO DEL RÍO CTALAMOCHITA, PROVINCIA DE CÓRDOBA”

Esta investigación presenta los resultados de la modelación hidráulica de un tramo del río Ctalamochita ubicado en la provincia de Córdoba en Argentina. El objetivo de este estudio fue identificar las áreas inundables para prevenir catástrofes y les permitiera tomar decisiones en áreas que se encontraran en riesgo. Los programas utilizados son el modelo hidrodinámico unidimensional (HEC-RAS) y modelo hidrodinámico bidimensional Iber). Los datos tomados en cuenta para la modelación son tomados de acuerdo a la fuerte inundación que vivió la provincia en marzo de 2014. Se realiza la batimetría y los puntos topográficos como información para la modelación, se ejecuta el modelo digital de elevación y se otorga las condiciones hidráulicas para implementarlo en los programas, se realizó el análisis de la modelación donde se distinguieron escenarios donde variaron las características de flujo. Esto permitió realizar una comparación entre la información obtenida en campo y la de los modelos, llegando así a facilitar el comportamiento hidráulico, presentando como gran herramienta el modelo bidimensional Iber con un “error promedio del 5%”, comparado con el modelo unidimensional HEC-RAS que es del “15%”. Allí se compararon variables de velocidad y profundidad de flujo(Córdoba et al., 2016).

4.3“LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ANÁLISIS DE RIESGO DE AMÉRICA LATINA”

El análisis de los riesgos se determina según el nivel de riesgo y las temporadas climáticas que reflejan enfoques en la investigación de riesgos y amenazas de cualquier tipo de territorio. Con la ayuda de los sistemas de información geográfica se realiza la predicción del nivel de riesgo y las características de la zona que proporcionan información sobre las amenazas. En la generación de mapas de riesgo se permite realizar mitigación del riesgo y determinar qué medidas se pueden ejecutar para la reducción de desastres.

Los SIG para el análisis de riesgos se basan en datos geográficos, por ejemplo, imágenes de satélite y datos alfanuméricos. Su uso ofrece ventajas dado que puede ser económico, pueden tener gran productividad en los datos y los resultados se acercan a la realidad. Así mismo facilitan la toma de decisiones y permiten ahorrar tiempo, ya que con una caracterización de la zona y los datos recopilados en algunos casos se puede realizar el modelo sin necesidad de visitar a la zona. Puede utilizarse la información de los sistemas de información geográfica para orientar el uso del suelo y los proyectos de infraestructura o planificación urbana. En el desarrollo urbano, la información puede utilizarse en diseñar zonificación y construcciones en distintas zonas que reflejen niveles de amenaza en diferentes usos (Aplicaci et al., 1998).

4.3.2 “TERRITORY VULNERABILITY ASSESSMENT FRAME IN COLOMBIA: DISASTER RISK MANAGEMENT”

En Colombia existen diversos desastres naturales que involucran a la sociedad y genera pérdida de vidas, de viviendas, económicas y al recurso hídrico. En Colombia se han presentado efectos de cambio climático generando afectaciones graves a los territorios.

El presente artículo permite evaluar la vulnerabilidad con una metodología llamada “evaluación de vulnerabilidad territorial”, facilitando la toma de decisiones frente a eventos de riesgo en Colombia, incorporando metodologías para la evaluación de riesgos y de vulnerabilidad. Distintas entidades nacionales e internacionales como la “Comisión económica para América Latina y el Caribe, el Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción”, entre otras, desarrollan distintas metodologías para evaluar el riesgo y el manejo de las emergencias causadas por las inundaciones, avalanchas, tormentas, etc.

En general se explica la vulnerabilidad con un análisis de cómo los seres humanos realizan su propio impacto al medio ambiente, evaluando las características particulares de cada territorio en eventos ocurridos dentro del país como: Armero – Guayabal (1985), San Marcos – Mojana (2010-2011), Bosa - Bogotá (2011) y El canal de Dique – Atlántico (2010), donde se realizó un trabajo con las comunidades, capacitando personas para la interacción que se debe tener con el territorio, permitiendo la toma de decisiones eficaces en factores económicos, sociales y ambientales. (Villegas-González, Ramos-Cañón, González-Méndez, González-Salazar, & De Plaza-Solórzano, 2017).

4.4 CONCLUSIONES

Se pueden distinguir diferentes enfoques en la modelación basados en los recursos hídricos y sistema de alertas tempranas. La modelación hidrodinámica permite analizar la actuación del territorio de acuerdo a las condiciones del territorio, para así evaluar la afectación por inundaciones e implementar los sistemas de análisis de riesgos. En este sentido la modelación logra apoyar los procesos para la toma de decisiones en algún territorio, siendo eficiente y permitiendo disminuir los costos en las investigaciones. Así mismo, la importancia de los sistemas de alertas tempranas para ser incluidos en la toma de decisiones, ya que permiten estar atentos a los niveles de inundación y tener gran productividad en los datos y los resultados que se acercan a la realidad para poder generar actuaciones en tiempo real.

El aspecto positivo de la modelación hidrodinámica es poder analizar una zona en tiempo real, evidenciando cual es el comportamiento dinámico del territorio y como se enfrenta a casos vulnerables para los habitantes, como el análisis por inundación y el riesgo que puede generar en un territorio.

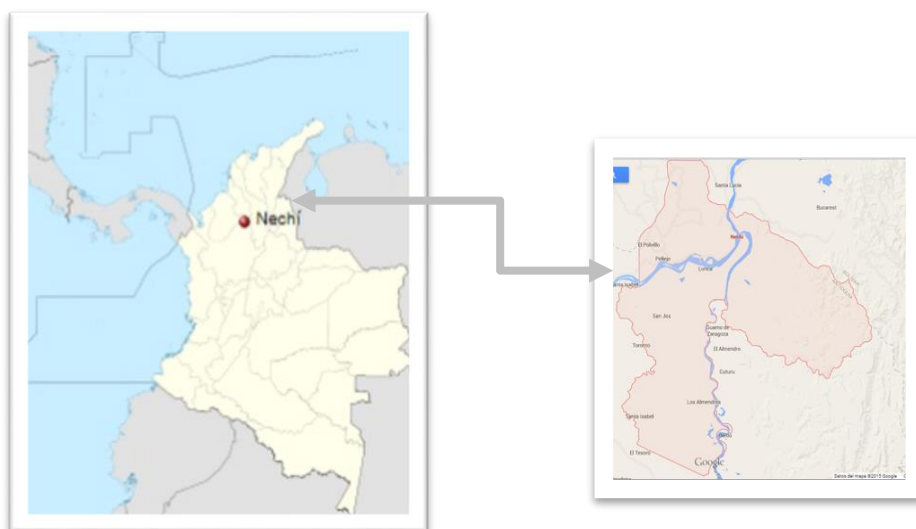
5. CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO

La ecoregión de la Mojana es afectada por el uso inadecuado de sus recursos naturales, presentando así reducción del nivel de vida de sus pobladores, pérdida de cosechas y viviendas a causa de las inundaciones. El municipio de Nechí es uno de los territorios más olvidados del país, presenta condiciones de pobreza, mala asistencia en los servicios públicos e inadecuado manejo en los residuos sólidos, que llevan directamente al riesgo en la seguridad de sus habitantes. De esta manera se escoge el municipio de Nechí debido a que este territorio presenta déficit en su desarrollo territorial y medio ambiente (Nechí, 2000).

5.1 UBICACIÓN

El municipio de Nechí se encuentra localizado en la región del bajo Cauca del Departamento de Antioquia, se encuentra a una distancia de “358 km” de la ciudad de Medellín, como se observa en Figura 1. Hace parte de los 11 Municipios del núcleo de la región de la Mojana. Limita por el norte con el Departamento de Córdoba y por el sur con los municipios de El Bagre y Caucasia (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

Figura 1. Ubicación Geográfica del Municipio de Nechí.



Fuente: (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

Nechí cuenta con una extensión total de “9135.135 Km²”, es el menor municipio de extensión territorial en el bajo Cauca. El municipio se comunica por carretera con Caucasia y es puerto fluvial sobre el río Cauca. Dentro del municipio se encuentran los siguientes barrios: “Barrio la Playa, Chaparro, Santa Lucía, 20 de enero, Popular,

El bosque, Las Palmas, Mojarrita, Belén, Villa María, La malagana, 14 de septiembre, Venecia, San Nicolás y Prado” (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

5.2 CLIMA

Dentro de la zona de la Mojana, incluyendo el municipio de Nechí predomina un clima cálido húmedo con una temperatura promedio de “28,3°C”; presentando una precipitación promedio anual varía entre “1.000 mm y 4.138”. Adicionalmente se encuentra a “36m” sobre el nivel del mar.

Puede considerarse que los meses donde se presenta el invierno es de “octubre a diciembre y de abril a junio” y la época más seca es de “enero a marzo y de julio a septiembre” (DANE, 2016). Estos valores van a ser tenidos en cuenta en la modelación, es importante presentar esta información climática debido a que estos cambios tienen impacto en el municipio ya que se generan inundaciones en las épocas de lluvias.

5.3 POBLACIÓN

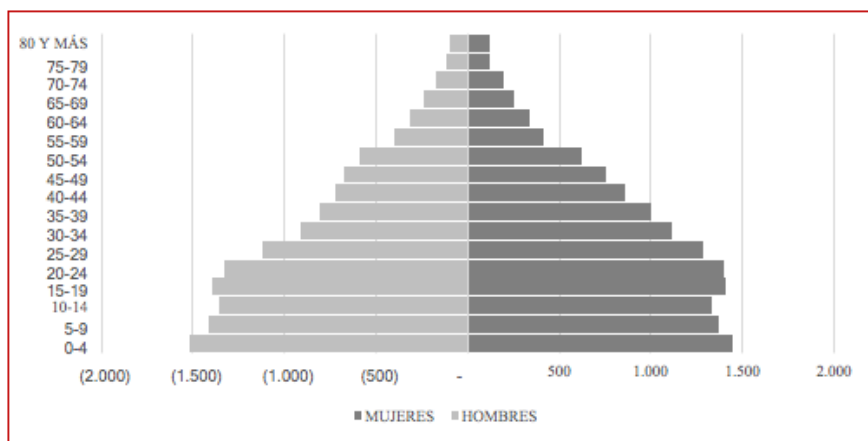
Según el Censo realizado por el DANE en el año 2016 el municipio de Nechí cuenta con “28.392” habitantes (DANE, 2016). El dato anterior no será tenido en cuenta dentro de la modelación, sin embargo si es importante indicar la cantidad de habitantes que serán analizados para la toma de decisiones en busca de soluciones para evitar el riesgo del territorio por inundación.

Según el NBI “necesidades básicas insatisfechas” indica que el “68,1” de los habitantes viven en condiciones de pobreza, lo que quiere decir que el municipio presenta déficit en vivienda (materiales precarios; sin conexión a tuberías de acueducto, alcantarillado o pozo séptico; hacinamiento crítico), en educación y salud (DANE, 2016).

Como se observa en la Ilustración 1, el total de la población del municipio de Nechí clasificada por edades entre los hombres y mujeres indican que en el municipio se presenta gran número de natalidad, para niños y niñas dentro de los “0 a 4”; la edad entre los “20 y 29” son un alto número de habitantes (DANE, 2016).

La densidad poblacional ha venido aumentando en los últimos años, ya que debido a su ubicación entre los departamentos de Córdoba y Bolívar llega gran población en modalidad de desplazamiento.

Ilustración 1. Población



Fuente: (DANE, 2016)

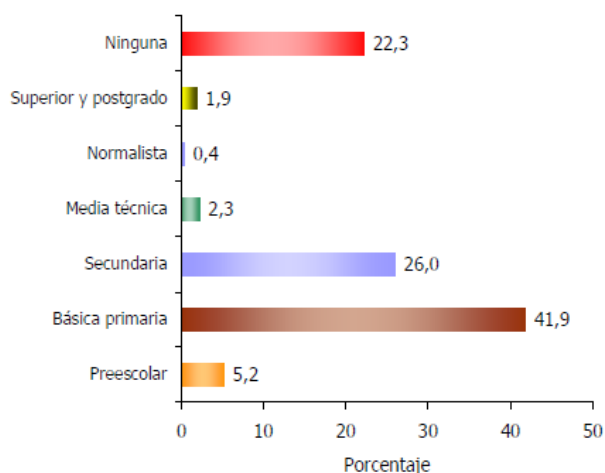
Los habitantes de la zona presentan una cultura anfibia que varía de acuerdo a los cambios de climáticos, estas personas pueden defenderse tanto en seco como en agua, combinan diferentes actividades de siembra y en los ríos, pero con los últimos años han sido afectados por las variaciones climáticas que conllevan a la disminución de actividades agrícolas y pesqueras.

5.4 CONDICIONES DE VIDA

5.4.1 EDUCACIÓN

La formación educativa del municipio de Nechí, según el DANE presenta un “22,3%” de tasa de analfabetismo siendo de las más altas del departamento y una cobertura de educación media del “16,3%” (DANE, 2016). La tasa bruta de escolaridad es de “89,9%”, y los índices más bajos de escolaridad es para los niveles de normalista, superior, posgrado y media técnica, esto evidencia la insuficiencia en la oferta educativa. Es de destacar que la educación es manejada directamente por el estado.

Ilustración 2. Nivel de educación



Fuente: (DANE, 2005)

El municipio cuenta con 4 instituciones educativas y estas funcionan únicamente dentro de la zona urbana donde se tiene en total “6.837 estudiantes” (Municipal, 2015). En la Figura 2 de una de la institución educativa del municipio. Es importante indicar que las oportunidades de educación superior no son muchas debido a que la oferta académica es inferior a las expectativas y demandas juveniles. Dado que la mayoría de programas técnicos y tecnológicos se encuentran en la cabecera municipal de Cauca, las personas de Nechí deben incluir los costos de desplazamiento y de alimentación, de este modo superan las posibilidades económicas para poder iniciar los estudios. Sin embargo, es importante indicar el estado de deterioro de las vías de comunicación ha complicado la movilidad de los estudiantes.

Figura 2. Colegio del municipio



Fuente: (Villegas-González, 2014).

5.4.2 SALUD

La salud de los habitantes del municipio es un tema complicado, porque se ven afectados por el estado físico del municipio, es decir, vías, infraestructura, redes de alcantarillado, proliferación de moscos, entre otros, permitiendo la generación de enfermedades e infecciones, afligiendo el desarrollo de los habitantes.

El servicio de salud es prestado por el hospital del municipio que es regulado por el estado, aunque faltan algunos equipos y elementos de apoyo médico. Las enfermedades más comunes que ocurren son la enfermedad diarreica aguda y las infecciones respiratorias que son causadas por la falta de disponibilidad del agua potable, la alimentación, el mal manejo que se tiene con las aguas servidas y la disposición de las basuras (Nechì, 2000). Esta información no va a ser tenida en cuenta en la modelación, pero si es importante tenerla en cuenta para realizar el análisis del sistema alertas tempranas. Esto teniendo en cuenta que debido a las inundaciones se presenta enfermedades para los habitantes del territorio.

Las enfermedades generan niveles de pobreza y estancan el desarrollo general del municipio; sin embargo, debido a la gran inmigración y emigración se generan grandes cambios en la población por los masivos desplazamientos, por la presencia de grupos armados y cultivos ilícitos que generan la potencialización de la pobreza y aumentan los nacimientos en la zona.

En general el programa de salud de acuerdo con lo establecido en el plan de desarrollo (Municipal, 2015), indica que en la actualidad es fundamental permitir el acceso y la disponibilidad de la entrega de medicamentos para toda la población buscando así llegar a zonas urbanas y rurales como se evidencia en la Figura 3 la entrega de los medicamentos.

Figura 3. Entrega de medicamentos



Fuente:(Alcaldía de Nechí, 2014).

Figura 4. Desecho de basuras del municipio



Fuente: (Villegas-González, 2014)

Debido a que no se cuenta con un único botadero de basura dentro del municipio, se puede observar en la Figura 4, como es el manejo de las mismas por los habitantes del municipio, ya que estos desechos son arrojados al río y de igual manera a fuera de sus casas generando contaminación.

Figura 5. Desecho de aguas negras de las casas



Fuente: (Villegas-González, 2014)

En la Figura 5 se observa como las personas realizan los desagües de sus casas, generando de este modo malos olores y afectación para la salud de los habitantes.

Dentro del plan de gobierno 2016-2019 del municipio de Nechí, se encuentra un ítem llamado “Sector Salud”, donde se realiza un seguimiento al índice de desnutrición para niños menores de 5 años y cobertura de vacunación, esto

realizándolo para toda la población del municipio sin importar si son sisben o tienen alguna IPS (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

El plan también crea estrategias para el reciclaje y la separación de residuos sólidos con el fin de mejorar las condiciones ambientales de la población y el mejor uso de los suelos.

5.4.2.1 RECURSOS DE LA SALUD

El municipio de Nechí cuenta con el “Hospital La Misericordia”, prestando el servicio de baja complejidad. Realizan programas para los niños de crecimiento y desarrollo, para los jóvenes del municipio se enfocan en servicios como: planificación familiar e individual. Finalmente realizan control de programas especiales como: control de la malaria, hipertensión y tuberculosis entre otros.

De igual modo se realizan brigadas a las zonas rurales como se observa en la Figura 6 y Figura 7 en las cuales las personas no tienen como acercarse al hospital. Este lo hacen realizando consultas de medicina general, salud oral, entrega de medicamentos y vacunación. El municipio se enfoca en buscar prevenir la presencia de enfermedades a través de visitas donde se realizan charlas para enseñarles a los habitantes las acciones correctivas y preventivas para el manejo de las enfermedades. La salud es un tema que no se incluye en la modelación, pero si es importante tenerlo en cuenta para realizar el análisis de la pobreza del municipio.

Figura 6. Brigadas de salud



Fuente: (Alcaldía de Nechí, 2014)

Figura 7. Niños con infecciones



Fuente: (Alcaldía de Nechí, 2014)

5.4.3 VIVIENDA

De acuerdo a la Tabla 1, se presenta déficit con referencia a las viviendas existentes del municipio, es decir que según los censos realizados por la (Alcaldía municipal de Nechí, 2017), se indica que las viviendas no son suficientes para la cantidad de habitantes que hay y las existentes se encuentran en condiciones precarias, lo que genera que muchos de los habitantes del municipio se encuentren en hacinamiento como se evidencia en Figura 8, donde muchas de las personas que han perdido sus viviendas se encuentran en condiciones no cómodas. Ocurre que cuando se presenta las inundaciones se deben reubicar muchas familias en salones de clase de distintos colegios dentro municipio. Sin embargo, aunque esta información no es tomada en cuenta en la modelación, es importante mostrar las condiciones de las viviendas y su vulnerabilidad frente a la inundación.

Tabla 1. Datos vivienda y población

| Número de habitantes | | Número de viviendas | |
|----------------------|--------|---------------------|-------|
| Urbano | 15.490 | Urbanas | 3.563 |
| Rural | 12.902 | Rural | 3.011 |
| Total | 28.392 | Total | 6.574 |

Fuente: (Alcaldía municipal de Nechí, 2017)

Figura 8. Ubicación de la población



Fuente: (Alcaldía de Nechí, 2014)

Las viviendas están normalmente construidas en mampostería, palma, bahareque, tejas de zinc; los pisos son terminados en tierra pulida y las cocinas de tierra. Algunas de las casas del municipio están localizadas cerca del río como se observa en la

Figura 9, estas son las que de algún modo se ven más perjudicadas cuando se presenta la inundación. Estas casas se construyen encima de columnas ya sean en madera o concreto, no todos los casos son iguales como se ve en la Figura 10 donde las casas no tienen el modo de evadir los altos niveles de agua.

Figura 9. Casas a orillas del río



Fuente: (Villegas-González, 2014)

Sin embargo, se destaca que la vivienda dentro del municipio está entre los estratos 1 y 2, adicionalmente las casas que se encuentran ubicadas en el casco rural son las que proporcionan menos seguridad ya que algunas de estas están en condiciones de miseria. Las viviendas están construidas en madera burda, material que como se observa en la Figura 9 no proporciona mayor comodidad ni seguridad, pero ellos a este tipo de construcción la llaman “Tambos”, es una manera de habitar para cuando se presenta la inundación.

Figura 10. Vivienda a orillas del río



Fuente: (Villegas-González, 2014)

En la Figura 10 se observa otro tipo de vivienda cerca del río, pero está ya no tiene columnas para evitar la inundación. Los pobladores de este lugar pueden ser afectados por la inundación, ya que cuando suban los niveles, tienen que evacuar sus propiedades. Sin embargo, algunos de ellos se quedan en la zona dado que aumenta la cantidad de peces, mejorando las actividades productivas locales.

Figura 11. Viviendas improvisadas



Fuente: (Villegas-González, 2014).

Además, como se observa en la

Figura 11 son casas improvisadas con combinación de materiales, donde las personas no tienen la mayor seguridad, este tipo de vivienda dentro del municipio son realizadas con materiales como: guadua, esterilla, zinc, cartón, latas o desechos, y se observa que esta situación agrava la calidad de vida de la población.

Figura 12. Viviendas urbanas



Fuente: (Villegas-González, 2014).

Figura 13. Viviendas urbanas afectadas por la inundación



Fuente: (Alcaldía de Nechí, 2014)

Finalmente, dentro del municipio se encuentran casas construidas en ladrillo-bloque como las que se observan en la Figura 12, materiales que de alguna manera preservan la vida de las personas. Este tipo de viviendas no son construidas sobre el nivel del piso, ya que debido a las inundaciones estas son hechas más arriba del nivel, sin embargo, también se puede ver en la Figura 13 viviendas elaboradas en madera y ladrillo, el agua sobrepasa el nivel de las viviendas inundándolas. Estas viviendas se encuentran dentro del casco urbano. Sin embargo, aunque el tipo de vivienda no va a ser incluido en la simulación, sí es importante destacar en qué condiciones se encuentran los pobladores del municipio, ya que debido al modo en el que viven afecta su salud y seguridad.

5.4.3.1 SERVICIOS PÚBLICOS

La cobertura que hoy tiene el municipio de Nechí respecto a los servicios públicos es crítica, debido a que un “55%” de las tarifas no cubren los gastos para la operación eficiente del servicio. La captación de agua para el servicio de acueducto se hace del río Cauca, dada la “concesión que fue otorgada con la resolución 130PZ-808 por un periodo de 10 años y para un caudal de “34.32 L/s”. El servicio de acueducto tiene una cobertura en el casco urbano del “85%” y para el área rural es de “15%” (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

Actualmente, el índice de riesgo en la calidad del agua tiene un porcentaje del “1.61%”, de acuerdo a la resolución “2115 de 2007” se encuentra apta para consumo humano; sin embargo, la alcaldía municipal realiza campañas de sensibilización ya que según los monitoreos y acorde a los parámetros de “DBO

(demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), grasas, aceites y metales” no cumple con la calidad para ser considerada para potabilización. Esto teniendo en cuenta que el río presenta alto grado de contaminación del agua por basuras y minería. El municipio además no presenta tratamiento para aguas residuales y tampoco un manejo adecuado de las basuras “desechos sanitarios” (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

En la gran mayoría de las viviendas del municipio el tratamiento de aguas residuales se realiza por letrinas y son descargadas directamente a los canales de desagüe de aguas lluvias donde van directamente al río Cauca o algunos casos son enterrados en lotes rurales. Esto presenta enfermedades para los habitantes del municipio, además estos desechos contaminan el río y lo más crítico es que al ser contaminado los habitantes consumen el agua que toman de allí y además han sido contaminados también los peces por las malas prácticas de minería (Nechí, 2000). Adicional a esto, la contaminación genera malos olores lo que ocasiona que se presenten moscos en el ambiente y proliferación de plagas, lo que conlleva a que se presenten enfermedades sanitarias en la comunidad.

El servicio de electricidad es prestado por la Empresas Públicas de Medellín (EPM), el cual presenta “5.612” suscripciones en el casco urbano, siendo en si el “90.4%” de cobertura en el casco urbano y “80” en la zona rural (Alcaldía municipal de Nechí, 2017). Estos valores no van a ser incluidos en la modelación, pero es importante indicar qué condiciones de pobreza enfrenta el municipio.

El municipio de Nechí no cuenta con servicio de gas, sin embargo, el “Plan de desarrollo municipal 2016-2020” tiene previsto abastecer a la población de este servicio, además de mejorar la prestación de servicios públicos básicos.

5.4.4 ASPECTOS ECONÓMICOS

El sector agropecuario es la mayor actividad del municipio, caracterizado por ser el primer productor de arroz del departamento de Antioquia. Produce también aproximadamente “3.000 toneladas” de yuca al año, cultivadas en pequeñas extensiones de tierra, parcelas o patios; alrededor de “320 toneladas” de maíz al año. Desarrolla otras actividades como el pecuario y el agrícola que en los últimos años ha sufrido un deterioro por el efecto de las olas invernales en los años 2010 y 2011, generando que disminuyera en un “30%” la inversión ganadera. Actualmente el municipio cuenta con “28.705 cabezas de ganado bovino”, como se evidencia en la Figura 14 la ganadería del municipio, ubicadas en aproximadamente “31.233 hectáreas” (Municipal, 2015).

La ganadería en el municipio también es utilizada como el levante, adicionalmente la producción de leche y carne. Algunos de los terrenos del municipio y el ganado

de Búfalos se observan en la Figura 15. Los Búfalos son considerados los “diamantes negros de la ganadería” (Nechí, 2000). Por su capacidad de trabajo y altos rendimientos de carne y leche.

Figura 14. Ganadería en Nechí



Fuente: (Villegas-González, 2014)

Figura 15. Ganadería Nechí



Fuente: (Villegas-González, 2014)

Adicionalmente, otra de las actividades de los habitantes es la pesca, siendo una de las causantes de las enfermedades de los habitantes. Esto se produce por la contaminación generada tanto con los desechos sólidos como minería para la extracción de oro. En este sentido, el río está siendo contaminado por mercurio y

los problemas se pueden generar en el momento que las personas consumen estos peces (Naciones Unidas, 2005).

La pesca se realiza a lo largo de los ríos Cauca y el río Nechí como se evidencia en la Figura 16, esta actividad pesquera se destina al autoconsumo y al mercado. Las mejores épocas para la pescadería son en los meses de enero y febrero, donde los ríos presentan alto nivel, haciendo que los pescadores aumenten su actividad, sin embargo, esta actividad ha ido decayendo en los últimos años debido a la contaminación de la minería y a las actividades industriales del Valle de Aburrá (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

Figura 16. Actividades pesqueras



Fuente: (Villegas-González, 2014)

Desde el punto de vista económico, el municipio produce el “63%” de oro y plata de la región, en la actualidad se realiza la explotación del oro en la orilla del río Nechí. En la actualidad, dentro del municipio se encuentran “7” lugares donde se puede comprar oro, sin embargo al llevarse a cabo esta actividad puede ser rentable con algún tiempo, porque la minería a degradado las tierras en las cuales ya no puede generarse este tipo de actividad (Nechí, 2000).

En el municipio de Nechí se encuentra la empresa de “Mineros S.A.”, que trabajan en el dragado de los ríos para la extracción del oro; pero también personas lo hacen de manera ilegal, donde exponen su salud a sustancias que son contaminantes como el mercurio por la mala manipulación de este elemento. No solamente las personas sufren los efectos de esto, los peces se ven afectados por la contaminación y en general el río. Los valores anteriores no son tenidos en cuenta

dentro de la simulación, pero debido a todos estos tratos que tiene la población son mayores los niveles de inundación y la pobreza aumenta en la región (Alcaldía municipal de Nechí, 2017).

El mercurio es un metal líquido de color gris-plateado brillante, aparece en la naturaleza de distintas formas químicas. Este metal tiene la capacidad de formar compuestos orgánicos e inorgánicos que llegan hasta el suelo, el agua y la vegetación.

En el caso del oro, se tritura la mina de oro nativa y se mezcla con el agua y el mercurio. El oro se disuelve en el mercurio. Este se evapora, luego se condensa y se vuelve a utilizar. El mercurio nunca desaparece del ambiente, generando contaminación futura, de esta manera tanto las mujeres embarazadas y los niños que son expuestos a esta contaminación tienen afectación en la salud.

Los habitantes están expuestos al mercurio de la siguiente manera:

- Consumo de pescados.
- La respiración de vapores de mercurio generados por la extracción del oro.
- Disminución de la capacidad visual y auditiva.
- Pérdida de apetito y de peso.
- Muerte.

En la salud de las personas el mercurio es toxico ya que actúa en el sistema nervioso, también puede ser absorbido por la piel, vapor e indigestión. Se puede ingerir este elemento cuando se consume pescado contaminado, debido a que el mercurio no se puede identificar fácilmente ya que no tiene olor ni sabor, este una vez ingresado al cuerpo no puede ser eliminado. Es importante indicar como los pobladores afectan su salud sin tener ninguna precaución, si no que adicionalmente arriesgan la vida de ellos mismos, la vegetación y los recursos de la región (Naciones Unidas, 2005).

5.4.5. VÍAS

Las vías de comunicación son acuáticas, terrestres y caminos que son carreteables. El transporte aéreo es también importante ya que es eficaz, rápido y garantiza seguridad, se tienen los aeropuertos de El Bagre y Cauca (Municipal, 2015)

La carencia del estado de vías del municipio es notable, adicionalmente porque en todo el municipio son muy pocos los kilómetros de vías que se encuentran pavimentados. En la

Figura 17 se observa el estado de las vías en el municipio, también en la Figura 18 se puede ver el estado de las vías cuando se presenta inundación dentro del

municipio y como deben utilizar las balsas como transporte dentro de la zona urbana.

Figura 17. Estado de las vías del municipio



Fuente: (Villegas-González, 2014)

Figura 18. Inundación de las vías



Fuente:(Alcaldía de Nechí, 2014)

5.4.6 INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO

El río Nechí es afluente del río Cauca y es determinante en la navegabilidad porque permiten el comercio entre Nechí, El Bagre y Zaragoza. Especialmente este río sirve a los habitantes para desplazarse a San Jacinto del Cauca para que puedan seguir cultivando el arroz, y el ganado mientras se va bajando el nivel del agua.

El municipio de Nechí comprende la planicie de inundación que se sitúa en el casco urbano, entonces en el occidente de este se presentan restos antiguos de canales que cuando hay épocas de creciente, vuelven a ser ocupados por el agua y se vuelve a empozar y de este modo rodean todo el costado del municipio.

En el costado oriental y norte del municipio están los sedimentos activos y barras de vegetación, donde se han asentado viviendas que se convierten en canales activos en épocas de crecientes. Esta inundación es tomada en cuenta en la modelación para determinar los niveles donde los habitantes del municipio se ven afectados por los ríos.

Figura 19. Inundaciones en el municipio



Fuente:(Alcaldía de Nechí, 2014)

Figura 20. Desbordamiento del río



Fuente:(Alcaldía de Nechí, 2014)

5.4.6.1 RÍO CAUCA

Se encuentra en la región montañosa de los Andes de Colombia, tiene una extensión de “58.510 Km²”, teniendo una longitud de “1.230 Km” que recorre hasta el río Magdalena. Este río nace en el páramo de papas en el macizo colombiano, sobre la cordillera central. La llanura aluvial del río está comprendida entre Margento y Nechí, tiene una ampliación de “5 Km” pero puede alcanzar los “12-13 Km” desembocando al río Nechí, donde se presenta destrucción de algunos tramos de la carretera entre Colorado – Nechí; además se presenta socavación en sus orillas.

La dinámica del río Cauca aumentó debido a los efectos que ha dejado la minería los últimos años, ya que se incrementó los sedimentos del río.

Cuando desemboca el río Nechí, al Cauca, se presenta un aumento de más del “42% del caudal” del río Cauca, entonces se presenta un cambio en el comportamiento de los caudales. Observado que los periodos del año entre diciembre de un año y a mediados del mes de mayo pero del año siguiente se presentan aguas bajas y las aguas altas se presentan a finales de mayo y principios de diciembre (Nechí, 2000).

5.4.6.2 RÍO NECHÍ

Este río es el principal afluente del río Cauca, recorre los municipios de Nechí, el Bagre, Zaragoza y Caucasia. Abarca “1.290 Km²” que son navegables y es fuente abastecimiento para la pesca.

Los caudales del río Nechí, aumentan las aguas del río Cauca y facilitan el transporte de sedimentos para el río Nechí. Estos caudales están dados por dos periodos; entre noviembre de un año y finales de abril del año siguiente es temporada de aguas bajas y febrero y marzo son los meses más secos.

Figura 21. Unión de los ríos de Cauca y Nechí



Fuente : (Villegas-González, 2014)

Los ríos Cauca y Nechí presentan pendientes del “1%” o menos, facilitando las inundaciones. Esto debido al gran drenaje. Se observa la unión de los dos ríos Cauca y Nechí en la Figura 21.

El río Nechí muestra los caudales más altos en el mes de octubre. La estación meteorológica de Las Flores esta ubica en el Cauca, donde muestra que el nivel del río Cauca está por encima de “5,10m” según registros de la estación meteorológica, Las Flores según registros del año 1992, esto quiere decir que se ocasionan inundaciones en el casco urbano del municipio cada 4 o 7 meses al año.

La dinámica que presentan estos dos ríos, hace que las inundaciones sean cada vez más difíciles de manejar y esto se ve relacionado con el crecimiento urbanístico. Debido a la topografía plana, las zonas de inundaciones son mayores. En este proyecto se analiza los impactos que generan las inundaciones en el municipio (Nechí, 2000).

5.5 ENTREVISTAS POBLADORES DEL MUNICIPIO DE NECHÍ

Se tuvo la oportunidad de realizar una entrevista a algunos pobladores del municipio, donde las personas explican las actuales condiciones de vida. Esta entrevista fue realizada por la ingeniera Paula Andrea Villegas González en el mes de marzo de 2015.

5.5.1 Encuesta N° 1.

Señor Alberto Gune

- ¿Cuánto tiempo dura la inundación?

Rta: Noviembre, diciembre y abril.

- ¿Cuáles son los meses más importantes para la pesca?

Rta: Noviembre y diciembre. En esos meses es cuando más hay inundaciones y coinciden con la subienda de los pescados.

- ¿Qué significado tiene la inundación?

Rta: las personas están acostumbradas a vivir en esas condiciones (inundaciones), la pesca es mayor, también los niños se divierten cuando la zona es inundada, pero se enferman con más frecuencia y las enfermedades dan con más fuerza.

- ¿Cuántos niños hay por familia?

Rta: por familia hay de 3 a 4 niños.

- ¿Qué clase de pescado se ve con más frecuencia?

Rta: Bocachico, bagre y blanquillo.

- ¿Cada cuánto se ven esos pescados?

Rta: cuando hay subienda, la cantidad de pescado es alta.

- ¿Se han visto cambios en el pez por el tema de la contaminación?

Rta: el pescado físicamente no se presenta ninguna clase de cambio, pero son conscientes de los peligros que causa consumir un alimento con una contaminación alta como la que se presenta en la zona, esta contaminación es generada por la utilización de sustancias para extraer el oro.

- ¿La vivienda en la que viven es propia?

Rta: toman el lote por posesión, por no tener escrituras y estar por fuera de la zona urbana (viven en la orilla del río), no cuentan con servicios públicos adecuados y los que cuentan con estos es por contrabando.

- ¿De qué se enferman los niños?

Rta: con más frecuencia se enferman de gripa, fiebre, pero cuando llega la inundación las enfermedades aumentan y se registran infecciones respiratorias, diarrea y fiebre tifo.

El municipio cuenta con pozos sépticos, al llegar la inundación, mezcla las aguas negras y grises, los niños juegan dentro del agua y muchas familias toman de esas mismas aguas, por tal razón se enferman más en épocas de inundación.

- ¿Tratan el agua?

Rta: sí, la administración municipal y diferentes empresas les brindan cloro compuesto para el tratamiento del agua.

5.5.2 Encuesta N° 2.

Señora Ana Velásquez.

- ¿Cómo les va con la inundación?

Rta: la gente está acostumbrada, pero muchas familias cuando llega la inundación comen y duermen inundados (dentro del agua). En la última inundación el agua les llegó a la cintura.

- ¿Qué meses del año se inundan?

Rta: octubre y noviembre.

- ¿Cómo es el pescado en la zona?

Rta: en verano el pescado es escaso y pequeño, y en época de invierno la cantidad de pescado es alta, pero a comparación de los años anteriores es menor.

5.5.3 Encuesta N° 3

- ¿Han funcionado las obras de cierre para mitigar la inundación en el municipio?

Rta: sí, las personas están de acuerdo con los trabajos que se han hecho. La inundación ha bajado y la gente ha vuelto a la zona.

- ¿Qué tal es el colegio?

Rta: el colegio está abandonado, los servicios básicos no están completos, les hace falta mejorar las instalaciones.

5.5.4 Encuesta N° 4

Señor: Luis Manuel Escobar (exconcejal de Nechí)

- ¿Cuántas inundaciones fuertes han presentado en municipio y hace cuánto?

Rta: se han presentado de 2 a 3 inundaciones fuertes hace 6 años más o menos.

- ¿Qué opina de las obras que se han hecho en el dique?

Rta: ayuda a que la inundación no afecte a la población, aunque las obras no mitigan en su totalidad el problema.

- ¿Qué pasa con los negocios cuando llega la inundación?

Rta: la gente trabaja normal pues se encuentra adaptada a la inundación. Lo que se hace es dejar los artículos elevados a una distancia que el agua no el alcance y por ende los llegue a dañar.

- ¿Qué sectores del comercio se ven afectados por la inundación?

Rta: cuando el río entra favorece a unos sectores como el comercio el cual incrementa el precio de los artículos, en cambio el sector de la agricultura se ve bastante afectado.

- ¿Cómo es la salud de las personas en el periodo de inundación?

Rta: no se han presentado emergencias graves de personas enfermas con esa causa, al contrario, el porcentaje de personas enfermas es bajo.

- ¿Cómo ve la contaminación del pescado?

Rta: las personas están informadas de los contaminantes existentes por causa de la extracción del oro, por ende, están pendientes de la calidad de pescado. Mucha gente ha dejado de consumir pescado para evitar complicaciones con la salud.

- ¿Qué papel tiene la administración municipal en la dinámica de la inundación?

Rta: intentan tapar puntos críticos (específicos) en el municipio con costales llenos de arena y tierra para mitigar un poco la inundación, aunque cuando el agua llega al municipio se lleva lo que encuentra. No se tiene un plan de prevención, sino que esperan a que llegue la inundación.

- ¿Cuánto tiempo dura la inundación en el pueblo?

Rta: la inundación dura de un mes a un mes y medio.

5.5.5 CONCLUSIONES

Lo más importante es que la mayoría de las personas comentan que están acostumbradas a las inundaciones y que en parte les parece algo bueno ya que incrementa la productividad de peces en la zona. Esto permite mejorar su economía.

Adicional en la zona los más contentos con las inundaciones son los niños, ellos encuentran varios motivos para divertirse en épocas como esas, aunque tienen más probabilidades de contraer alguna enfermedad como fiebres altas y gripas por el cambio.

En la encuesta N°4 es una de las entrevistas de mayor información aporta porque es realizada por un exconcejal de la zona el cual habló sobre proyectos de infraestructura realizados en la zona en las administraciones pasadas (casas para ayudar a las personas del municipio). Estas estructuras como muchas encontradas en el municipio son palafitos con el fin de evitar que la inundación dañe los enseres que se encuentran en las casas, también hablo sobre las alzas en los precios de los productos en las tiendas cuando llegaba a inundación y una de las causas para la subida de los precios es la dificultad de llevar los productos a las tiendas.

6. MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

En la actualidad, el municipio de Nechí es uno de los municipio mas inundados de la ecoregión de la Mojana, ya que debido a su ubicación colinda con los rios Nechí y Cauca, siendo vulnerable a la inundación. Debido a esto en el territorio se presenta gran catidad de problemas, debido a la baja infraestructura de sus redes de drenaje, mal manejo de los residuos solidos, contaminación por minería, entre otros. De acuerdo a lo anterior, el modelo hidrodinámico permite identificar los niveles de inundación y el impacto que estos generan al territorio.

6.1 PLATAFORMA IBER

Iber es un modelo bidimensional gratuito que permite la simulación del flujo de aguas someras y de procesos medioambientales. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, rotura de presas, transporte de sedimentos y zonas inundables (Iber, 2014a). El programa está compuesto por dos etapas, la primera es el pre-proceso, planteando el modelo digital de elevación del terreno en formato ASCII, mostrando la geometría que puede ser creada o importada desde distintas herramientas (MDT, RTIN, CELL SUP, TIN generada desde un SIG), se indica las condiciones de contorno, asignando el caudal específico o el caudal total, en función de flujo subcrítico, crítico y súper crítico. Además, generación de malla bidimensionales estructurada o no estructurada de triángulos o de cuadriláteros (fundamental para conseguir buenos resultados), coeficiente de Manning, entre otros parámetros para la obtención de los resultados para la ejecución del cálculo. En el postproceso se encuentra la finalización de los cálculos y la visualización de los resultados, obtención de tablas y gráficas, para finalizar se puede exportar los resultados y se realiza el análisis de los mismos.

6.1.1 ECUACIONES DE GOBIERNO

En esta sección se presentan los antecedentes de la modelación, mostrando las ecuaciones de gobierno que son tenidas en cuenta para la modelación hidrodinámica, utilizando los modelos numéricos basando en ecuaciones de aguas someras que permite la identificación de zonas inundables, "Shallow Water

Equations (2D-SWE) o St. Venant bidimensionales”(Iber, 2014a). Estas ecuaciones permiten identificar la distribución uniforme en relación con la velocidad y la profundidad. Lo anterior siendo analizado desde en la plataforma Iber 2D. Tras la modelación realizada para el municipio de Nechí (Antioquia), se determinó la siguiente información que fue tomada en cuenta para el desarrollo del modelo.

El programa permite realizar un modelo bidimensional 2D en lamina libre de aguas poco profundas, calculando los niveles de agua analizando inundación velocidades en rios, canales, obras hidraulicas, entre otras.

Para resolver los modelos hidrodinámicos, se plantea las ecuaciones de Saint Venant 2D, que son deducidas por dos leyes fisicas: (i) de conservación de masa y (ii) la cantidad de movimiento. Estas leyes fisicas se reducen a la expresión matematica de la ecuación de Navier – Stokes que gobiernan el movimiento del fluido en tres dimensiones.

Ocurre que cuando se deduce las ecuaciones de Saint Venant 2D a partir de las de Never Stokes, se realiza un promedio donde se obtiene las ecuaciones de Reynolds y tambien un promedio en la profundidad para pasar de ecuaciones trimensionales a bidimensionales.

A continuación se muestra las ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones:

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dq_x}{dt} + \frac{d}{dx} \left(\frac{q_x}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{d}{dy} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{dz_b}{dx} - \frac{\tau_{hx}}{\rho} - \frac{d}{dx} (h u_x' u_x') - \frac{d}{dy} (h u_y' u_y') \quad (2)$$

$$\frac{dq_y}{dt} + \frac{d}{dx} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{d}{dy} \left(\frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{dz_b}{dy} - \frac{\tau_{hy}}{\rho} - \frac{d}{dx} (h u_x' u_y') - \frac{d}{dy} (h u_y' u_y') \quad (3)$$

Donde:

h: profundidad de la lamina de agua

q_x: caudal especifico en dirección X

q_y: caudal especifico en dirección Y

z_b: cota del fondo

g: gravedad

ρ: densidad del agua

τ_{b,x}: componente en x de la tensión tangencial que ejerce el fondo

$\tau_{b,y}$: componente en y de la tensión tangencial que ejerce el fondo

La ecuación uno representa la conservación de masa, y la número 2 y 3 la cantidad de movimiento en las direcciones “X” y “Y” (Iber, 2014b).

En el programa Iber para resolver la hidrodinámica se debe conocer la rugosidad del río, saber las condiciones iniciales y finalmente incluir las condiciones de contorno. El programa genera los niveles de inundación, el caudal específico y las velocidades.

6.1.1.1 parametros numéricos

Los criterios de estabilidad para el programa Iber 2D, se analizan con el número de Courant (CFL), definido por la ecuación 4.

$$CFL = \frac{(U + \sqrt{gH})\Delta T}{\Delta X} \quad (4)$$

Donde:

U : velocidad promedio del flujo en cada celda

g : gravedad

h : altura promedio de flujo

ΔX : tamaño de las celdas

ΔT : tamaño de paso de tiempo

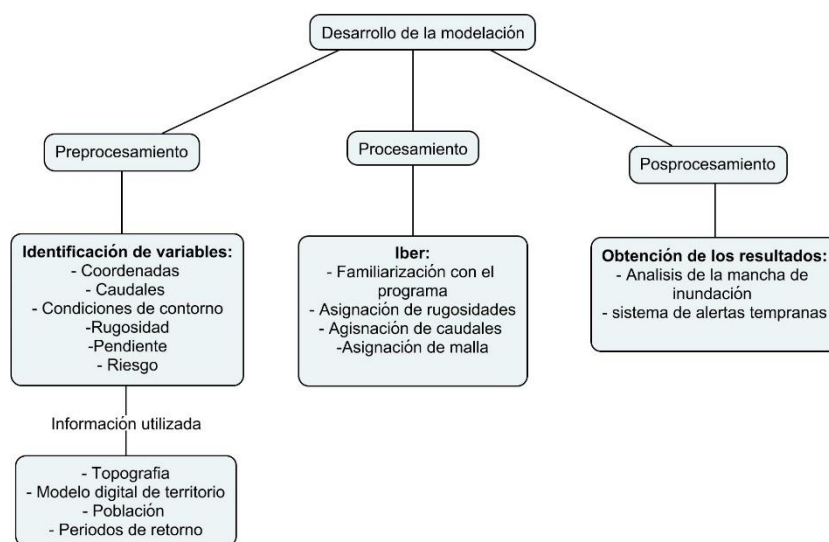
Esta ecuación es importante ya que permite obtener datos confiables y estables para la modelación.

Para que el número de Courant “CFL” sea estable, la condición que debe tener es $CFL < 1$, ya que cuando este parametro es mayor podrían aparecer problemas de convergencia en el transcurso de las ecuaciones.

6.1.2 DESARROLLO DE LA MODELACIÓN (PREPROCESAMIENTO)

Se realiza el desarrollo de la modelación ejecutado bajo el programa Iber 2D, con información tenida en cuenta para el modelo digital de territorio y datos hidrológicos. En la trazabilidad se muestra el pre procesamiento en donde se indica la geometría, la generación de malla (no estructurada), condiciones de contorno y las condiciones iniciales. Seguidamente continúa el proceso, donde se recopilan los datos logrados y la información numérica para obtener los resultados esperados. Finalmente, en el post procesamiento, se puede observar y analizar los resultados como profundidad, caudal específico, velocidad y la cota de agua.

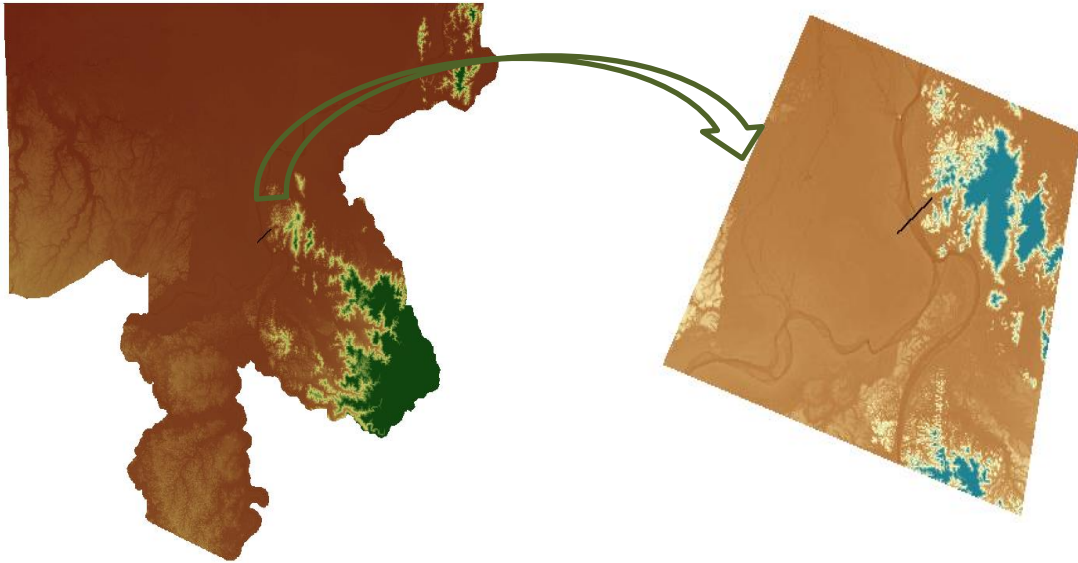
Ilustración 3. Desarrollo de la modelación



6.1.2.1 MODELO DIGITAL DEL TERRENO

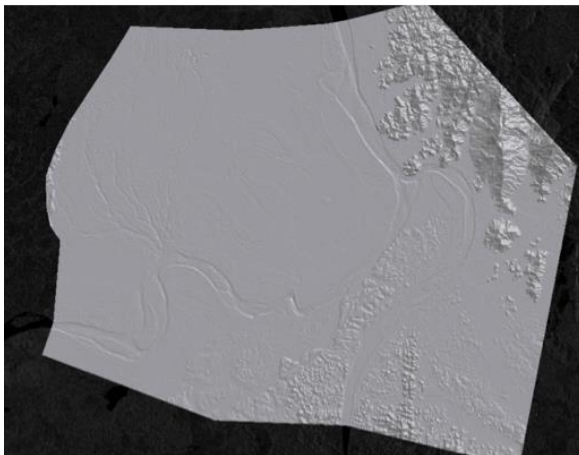
El modelo digital de territorio (MDT) utilizado con datos reales topográficos del Departamento de Antioquia, toma información real de alturas. Se inicia en el programa ARCGIS para delimitar la zona de estudio ubicada en el municipio de Nechí (Fondo de Adapatación, 2013). Al realizar la conversión del archivo se obtiene un archivo en extensión ASCII, información que es llevada al programa Iber para la solución de las ecuaciones de aguas someras. En la selección de la zona evaluación de la inundación se presenta la siguiente trazabilidad: Figura 22, ubicación de los ríos Cauca y Nechí.

Figura 22. Selección de área MDT



Como se evidencia en la Figura 23 se seleccionó el dominio del área de trabajo donde se tiene en cuenta las condiciones de contorno, la estructura del dique ubicado en el corregimiento de Colorado y los cauces, para realizar el análisis de inundación por la variación de los niveles entre el municipio y los ríos. En esta área seleccionada se busca tener datos de entrada y salida, de este modo se plantea que el polígono activo sea donde se ubiquen las estaciones limnigráficas, como se evidencia en la Figura 24, proporcionando soluciones a las ecuaciones de aguas someras.

Figura 23. Selección Dominio



Fuente: (Fondo nacional de adaptación, 2017)

6.1.3 ZONA DE ESTUDIO

La delimitación de la zona de estudio se realiza según la ubicación de las estaciones hidrológicas, permitiendo evaluar el dominio de inundación, relacionados con datos de entrada y salida.

Las estaciones de entrada corresponden a: Margento (Río Cauca) y La Esperanza (Río Nechí), los datos de estas estaciones son caudales fijos. En la salida se tiene en cuenta la estación de las flores (río Nechí), como se puede observar en la Figura 24. Debido a la información de cada estación se determinó el caudal total de entrada fijo para cada punto, la información de las estaciones se puede observar en Tabla 2.

Figura 24. Imagen ubicación estaciones



Fuente: (Google Maps, 2017)

Tabla 2. Información estaciones

| Entrada | Nombre Estación | Clase | Categoría | Estado | Río |
|---------|-----------------|-------------|--------------|--------|-------|
| 1 | Margento | Hidrológica | Limnigráfica | Activa | Cauca |
| 2 | La Esperanza | Hidrológica | Limnigráfica | Activa | Nechí |

| Salida | Nombre Estación | Clase | Categoría | Estado | Río |
|--------|-----------------|-------------|-------------|--------|-------|
| 1 | Las Flores | Hidrológica | Limnimetría | Activa | Cauca |

Por medio de los datos Limnigráficos se determinan los niveles de agua realizando un registro gráfico y los datos son transformados en caudales para evaluar las crecidas de los ríos (Etesa, 2009).

6.1.3.1 CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno son determinadas según el área de estudio, debido a que en el programa Iber se pueden definir varios entornos. Por ejemplo, nivel de agua, caudales de entrada y salida, rugosidad según el tipo de material de suelo, cotas de nivel de agua y tipo de flujo. Es importante indicar que según la información que se tenga se incluyen en de la plataforma; sin embargo, estos datos dependen de los resultados que se deseen obtener. La información tenida en cuenta es la presentada a continuación.

6.1.3.2 PERIODO DE RETORNO

Para el análisis de periodo de retorno se tiene en cuenta la incorporación de la gestión de riesgo y manejo de cuencas hidrográficas realizado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Con base en la información suministrada se realiza la evaluación de escenarios de acuerdo a la amenaza y según la información existente por la caracterización del territorio se identifica que el municipio presenta constantes inundaciones que genera riesgo por inundación.

Según las áreas críticas propias de la topografía real y los datos hidrológicos que permiten la realización de la modelación hidrodinámica por inundación, información que es integrada a distintos escenarios con variación en los periodos de retorno, con información real histórica y la caracterización del territorio se permite identificar la zona de evaluación.

De acuerdo a la modelación en el programa Iber se obtienen resultados de los niveles máximos y las velocidades máximas de flujo, de acuerdo a la propuesta dada por el autor Vélez y otros (2004) se obtienen las manchas de inundación para periodos de retorno de los caudales a 100 años y 500 años para la determinación de riesgo. Sin embargo, la (CVC) plantea que se puede obtener resultados de modelación con periodos de retorno menores o iguales a 15 años (Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca, 2014).

De acuerdo a lo anterior y debido al análisis realizado de la zona los datos para periodo de retorno de caudales son los siguientes: 15, 100 y 500 años, permitiendo encontrar detalle en la modelación para el análisis de mancha de inundación (Ricardo A. Smith, Jaime I. Vèlez, Claudia C. Rave, Humberto Caballero, Veronica Botero, 2004)

6.1.3.3 INFORMACIÓN DE CAUDALES

La selección de los datos se realizó según la información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), accediendo

a los caudales máximos anuales de las estaciones escogidas. Con el análisis se obtienen los siguientes datos y se anexan en la Tabla 3:

Tabla 3. Información datos de entrada

| ESTACION E1 | |
|------------------|---------------|
| Margento - Cauca | |
| Limnigrafica | |
| Código: 25027050 | |
| Año | Q máximo (M3) |
| 1966 | 1991 |
| 1967 | 1645 |
| 1968 | 1199 |
| 1969 | 1199 |
| 1970 | 1205 |
| 1975 | 3841 |
| 1976 | 2211 |
| 1977 | 2579 |
| 1978 | 2471 |
| 1979 | 3147 |
| 1980 | 2190 |
| 1981 | 2506 |
| 1982 | 3055 |
| 1983 | 2347 |
| 1984 | 2820 |
| 1985 | 2262 |
| 1986 | 2210 |
| 1987 | 2764 |
| 1988 | 3014 |
| 1989 | 2250 |
| 1990 | 2208 |
| 1991 | 1971 |
| 1992 | 2224 |
| 1993 | 2876 |
| 1994 | 2600 |
| 1995 | 2590 |
| 1996 | 2887 |
| 1997 | 2328 |
| 1998 | 3155 |
| 1999 | 3813 |
| 2000 | 3425 |
| 2001 | 2071 |
| 2002 | 2652 |
| 2003 | 3209 |
| 2004 | 2545 |
| 2005 | 2725 |
| 2006 | 2805 |
| 2007 | 3079 |
| 2008 | 2795 |
| 2009 | 2352 |
| 2010 | 4556 |
| 2012 | 1964 |
| 2013 | 2137 |
| 2014 | 2268 |
| 2015 | 1872 |

Fuente: (IDEAM, 2015)

De acuerdo a la información anterior, se utilizó el programa Hidroesta, plataforma gratuita que permite realizar el análisis y el proceso de la información de caudales máximos con relación a los periodos de retorno.

Figura 25. Proceso datos hidrológicos



Fuente: (Ingeniería agrícola, 2004)

El programa Hidroesta permite realizar estudio de datos estadísticos que pueden estar agrupados o no, teniendo en cuenta la regresión lineal, no lineal, simple y múltiple, siendo evaluados en distintas distribuciones como, por ejemplo: normal, log normal, gamma, entre otras.

Debido a que se ajustó a la distribución de Gumbel (esta distribución ha arrojado buenos resultados para el cálculo de los caudales máximos), permitiendo evaluar los caudales con los distintos periodos de retorno, los datos obtenidos son los que se muestran a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Calculo de caudales

| Estacion Margento -Codigo: 25027050 | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Gumbel | | | | | | |
| Tr | 10 | 15 | 50 | 100 | 200 | 500 |
| | 3403,4 | 3623,49 | 4261,95 | 4624,91 | 4986,55 | 5463,65 |

| Estacion La Esperanza -Codigo: 27037010 | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Gumbel | | | | | | |
| Tr | 10 | 15 | 50 | 100 | 200 | 500 |
| | 2160,14 | 2260,36 | 2551,11 | 2716,39 | 2881,07 | 3098,34 |

Debido a que la información se calculó por esta plataforma, es importante realizar una verificación de estos datos, ya que estos caudales fijos son información tenida en cuenta para los datos de entrada de la simulación. Con la verificación se permite realizar un buen estudio de los resultados, los datos comprobados con los tenidos

en cuenta se presentan en las siguientes tablas: Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 5. Comprobación de Caudales E. Margento E1

| No. | AÑO | Vr. Max Anual (m3) | Vr. Q Max Anual Ordenado ((m3/s) |
|-----|------|--------------------|----------------------------------|
| 1 | 1966 | 1991 | 1254 |
| 2 | 1967 | 1645 | 1303 |
| 3 | 1968 | 1199 | 1307 |
| 4 | 1969 | 1199 | 1330 |
| 5 | 1970 | 1205 | 1366 |
| 6 | 1975 | 3841 | 1392 |
| 7 | 1976 | 2211 | 1420 |
| 8 | 1977 | 2579 | 1420 |
| 9 | 1978 | 2471 | 1454 |
| 10 | 1979 | 3147 | 1454 |
| 11 | 1980 | 2190 | 1461 |
| 12 | 1981 | 2506 | 1468 |
| 13 | 1982 | 3055 | 1472 |
| 14 | 1983 | 2347 | 1473 |
| 15 | 1984 | 2820 | 1487 |
| 16 | 1985 | 2262 | 1513 |
| 17 | 1986 | 2210 | 1550 |
| 18 | 1987 | 2764 | 1589 |
| 19 | 1988 | 3014 | 1646 |
| 20 | 1989 | 2250 | 1682 |
| 21 | 1990 | 2208 | 1697 |
| 22 | 1991 | 1971 | 1736 |
| 23 | 1992 | 2224 | 1738 |
| 24 | 1993 | 2876 | 1745 |
| 25 | 1994 | 2600 | 1758 |
| 26 | 1995 | 2590 | 1767 |
| 27 | 1996 | 2887 | 1787 |
| 28 | 1997 | 2328 | 1787 |
| 29 | 1998 | 3155 | 1867 |
| 30 | 1999 | 3813 | 1893 |
| 31 | 2000 | 3425 | 1895 |
| 32 | 2001 | 2071 | 1911 |
| 33 | 2002 | 2652 | 1927 |
| 34 | 2003 | 3209 | 1936 |
| 35 | 2004 | 2545 | 1945 |
| 36 | 2005 | 2725 | 1955 |
| 37 | 2006 | 2805 | 1979 |
| 38 | 2007 | 3079 | 1979 |
| 39 | 2008 | 2795 | 1986 |
| 40 | 2009 | 2352 | 1993 |
| 41 | 2010 | 4556 | 2003 |
| 42 | 2012 | 1964 | 2022 |
| 43 | 2013 | 2137 | 2065 |
| 44 | 2014 | 2268 | 2165 |
| 45 | 2015 | 1872 | 2165 |

Tabla 6. Resultados de comprobación E. Margento E1

| No. | AÑO | Vr. Max Anual (m3/s) | Vr. Q Max Anual Ordenado ((m3/s) |
|-----|------|----------------------|----------------------------------|
| 1 | 1966 | 2003 | 1254 |
| 2 | 1967 | 1895 | 1303 |
| 3 | 1968 | 1936 | 1307 |
| 4 | 1969 | 1979 | 1330 |
| 5 | 1970 | 1867 | 1366 |
| 6 | 1971 | 1461 | 1392 |
| 7 | 1972 | 2295 | 1420 |
| 8 | 1973 | 2065 | 1420 |
| 9 | 1974 | 2165 | 1454 |
| 10 | 1975 | 2245 | 1454 |
| 11 | 1976 | 1927 | 1461 |
| 12 | 1977 | 1738 | 1468 |
| 13 | 1978 | 1454 | 1472 |
| 14 | 1979 | 1979 | 1473 |
| 15 | 1980 | 1454 | 1487 |
| 16 | 1981 | 1893 | 1513 |
| 17 | 1982 | 2022 | 1550 |
| 18 | 1983 | 1392 | 1589 |
| 19 | 1984 | 2447 | 1646 |
| 20 | 1985 | 1745 | 1682 |
| 21 | 1986 | 1473 | 1697 |
| 22 | 1987 | 1993 | 1736 |
| 23 | 1988 | 1911 | 1738 |
| 24 | 1989 | 1697 | 1745 |
| 25 | 1990 | 1682 | 1758 |
| 26 | 1991 | 1513 | 1767 |
| 27 | 1992 | 1330 | 1787 |
| 28 | 1993 | 1307 | 1787 |
| 29 | 1994 | 1303 | 1867 |
| 30 | 1995 | 1550 | 1893 |
| 31 | 1996 | 1767 | 1895 |
| 32 | 1997 | 1366 | 1911 |
| 33 | 1998 | 1472 | 1927 |
| 34 | 1999 | 1986 | 1936 |
| 35 | 2000 | 1736 | 1945 |
| 36 | 2001 | 1787 | 1955 |
| 37 | 2002 | 1646 | 1979 |
| 38 | 2003 | 1955 | 1979 |
| 39 | 2004 | 1787 | 1986 |
| 40 | 2005 | 2165 | 1993 |
| 41 | 2006 | 1468 | 2003 |
| 42 | 2007 | 2196 | 2022 |
| 43 | 2008 | 2237 | 2065 |
| 44 | 2009 | 1758 | 2165 |
| 45 | 2010 | 1945 | 2165 |
| 46 | 2011 | 1589 | 2196 |
| 47 | 2012 | 1487 | 2237 |
| 48 | 2013 | 1254 | 2245 |
| 49 | 2014 | 1420 | 2295 |
| 50 | 2015 | 1420 | 2447 |

Tabla 7. Comprobación de Caudales Estación La Esperanza

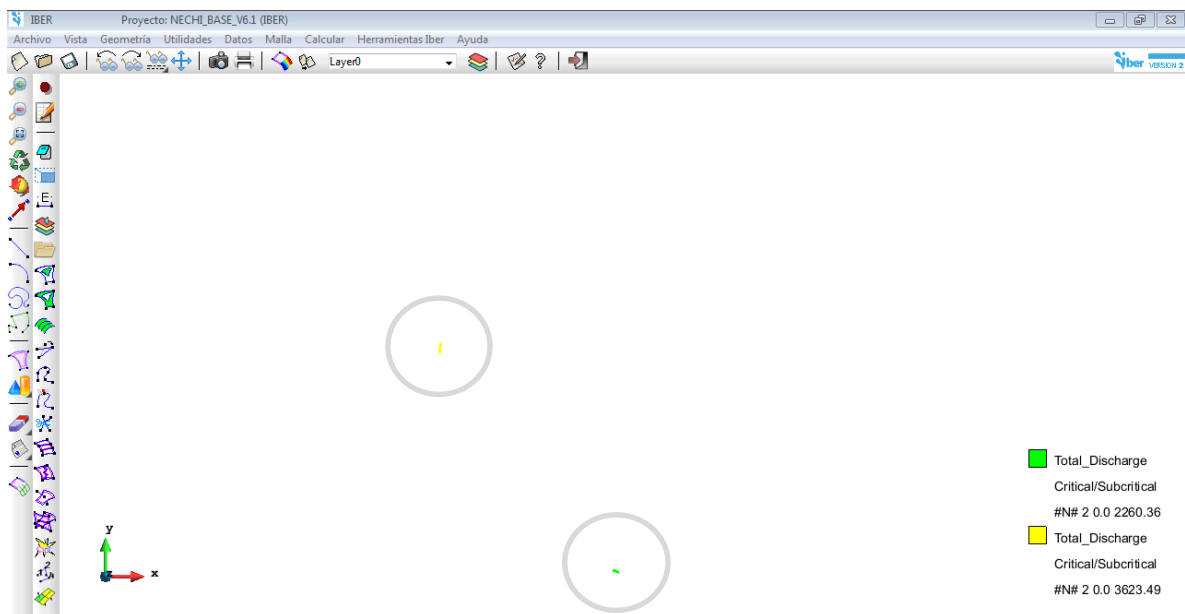
| ESTACION E1 | |
|------------------|----------------|
| Margento - Cauca | |
| Limnigrafica | |
| Codigo: 25027050 | |
| Tr | Valor Caudales |
| 10 | 3403,404744 |
| 15 | 3623,300 |
| 25 | 3896,301666 |
| 50 | 4261,96076 |
| 100 | 4624,919885 |
| 500 | 5463,663014 |

Tabla 8. Resultados de comprobación E. La Esperanza E2

| ESTACION E2 | |
|--------------------|----------------|
| La esperanza Nechi | |
| Limnigrafica | |
| Codigo: 27037010 | |
| Tr | Valor Caudales |
| 10 | 2158,612273 |
| 15 | 2258,9 |
| 25 | 2382,665725 |
| 50 | 2548,881376 |
| 100 | 2713,869716 |
| 500 | 3095,132582 |

Con el fin de la comprobación de datos, es importante indicar que de acuerdo a esto la diferencia de los resultados de los cálculos de los caudales máximos de las estaciones se presenta un error de 0.05%, por lo que, para finalizar, la información utilizada para la generación del modelo son los arrojados por el programa Hidroesta, de este modo los datos se llevan a las condiciones de contorno del modelo, como se muestra a continuación en la . Estos datos son cambiados según el periodo de retorno que se esté modelando.

Figura 26. Caudales en el modelo.

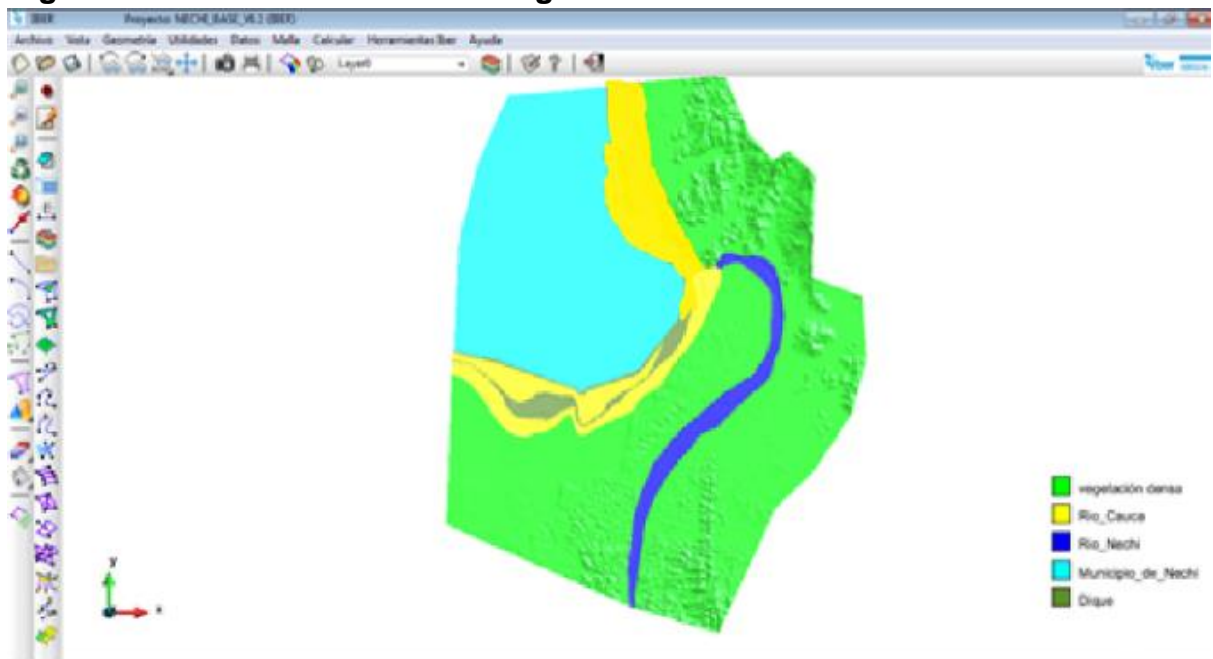


6.1.3.4 RUGOSIDAD

Las estimaciones del coeficiente de rugosidad de Manning para el cauce se han diferenciado por zonas de distinta clasificación. Es decir, se realizó la caracterización basados en el documento de El Servicio Geológico de Estados

Unidos, donde se han publicado una gran variedad de fotografías en lugares donde se han clasificado según los niveles de agua de crecientes. Adicionalmente, se pudo colocar por defecto el valor para vegetación densa, para el municipio de Nechí, para el dique y el de los cauces. Como se puede evidenciar en la Figura 27, en el modelo se clasifico de la siguiente manera.

Figura 27. Clasificación de Manning



Fuente: (modelación Iber, 2017)

Los datos tomados para cada zona son los indicados en la Tabla 9:

Tabla 9. Información de rugosidad.

| No. | Nombre | Manning (n) |
|-----|--------------------|-------------|
| 1 | Río Nechí | 0,032 |
| 2 | Río Cauca | 0,03 |
| 3 | Municipio de Nechí | 0,06 |
| 4 | Vegetación densa | 0,18 |

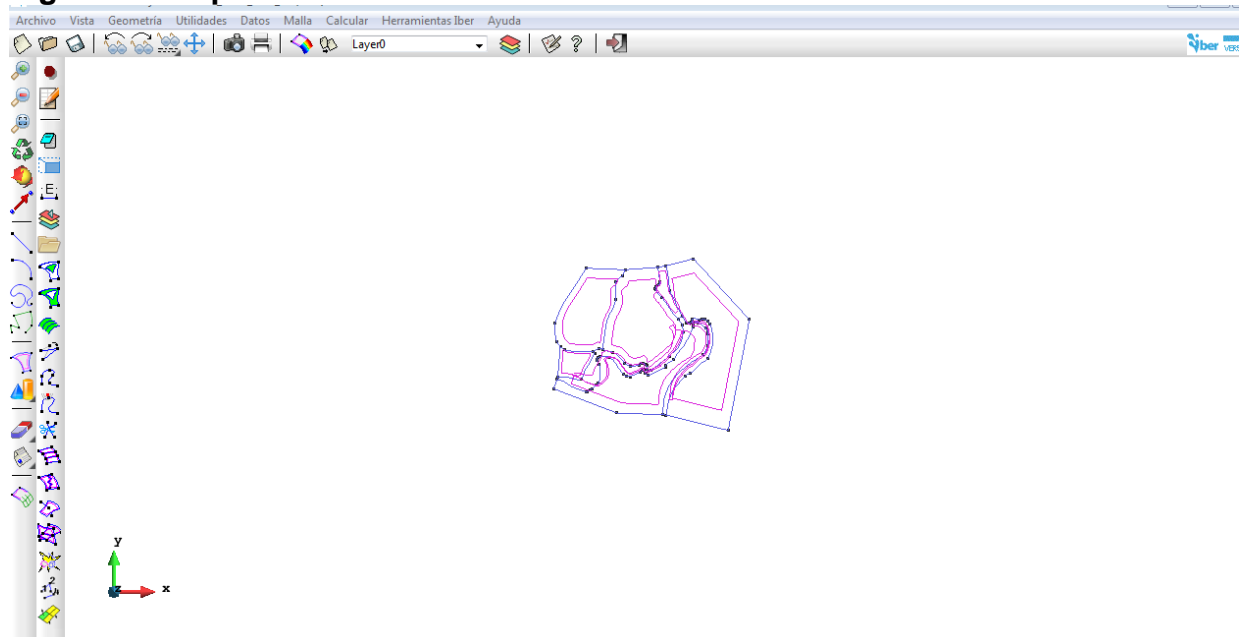
Para la rugosidad de vegetación densa se tomó por defecto del programa Iber. Las rugosidades de los cauces están basadas en la investigación desarrollada por el servicio geológico de los estados unidos (States & Printing, 1969). Con relación a las fotografías de investigación propuestas, se compararon con la información del suelo de la zona.

6.1.3.5 DETERMINACIÓN DE LA MALLA

La malla es el elemento fundamental para conseguir buenos resultados en el cálculo y el tiempo necesario en la modelación. El programa Iber tiene distintas maneras de generar la malla con elementos triangulares y cuadriláteros, para realizar el cálculo con mallas regulares o irregulares, así como estructuradas y no estructuradas.

Uno de los procesos que requiere mayor esfuerzo es la generación de la malla de cálculo debido a que el fondo del río no tiene una geometría regular. Para la modelación se realiza el cálculo con una malla irregular de triángulos, importado desde un archivo MDT como una única superficie. Estas superficies son creadas en Iber como NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), lo que quiere decir que se proporcionan mallas de mejor calidad como se evidencia en la Figura 28.

Figura 28. Superficies Iber



Fuente: (modelación Iber, 2017)

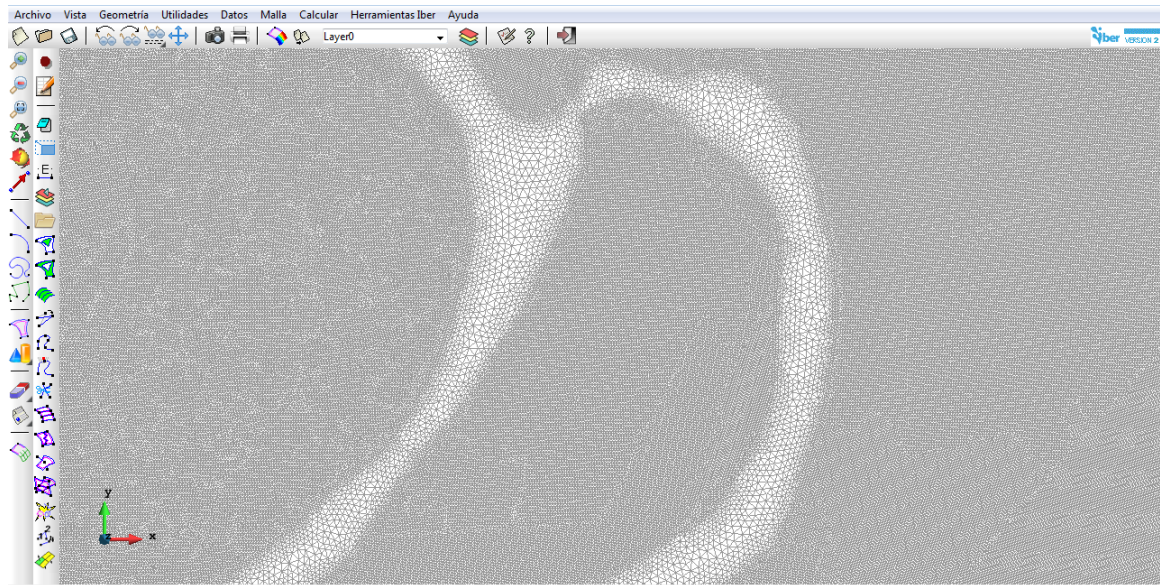
Finalmente, la malla de cálculo se genera no estructurada con el fin de que sea de calidad es decir que la malla sea fina o gruesa ya que este parámetro es importante porque de esto depende el tiempo de duración del análisis. Además de ser óptima para la elevación del modelo digital de territorio, generándose en formato ASCII desde Arcgis.

Luego, de realizar varias modelaciones para identificar el tipo de malla en la que se adaptara mejor al modelo digital de territorio y buscando el tiempo óptimo para la obtención de resultados, se encontró que la malla de 50X50X50, posee un esquema

de alta resolución, porque se adapta mejor a los contornos del terreno a estudiar, permitiendo evaluar los elementos de la zona y toda la información que se ejecuta en cada instante de la simulación. Como se puede identificar en la Figura 29, se aprecia la generación de la malla de cálculo con elementos de 3 lados, formando un ángulo de 60° y un tiempo de análisis más rápido en el proceso del cálculo en la modelación, dentro de esta malla se ejecuta un esquema para el análisis de la velocidad y mancha de inundación.

Sin embargo, para este tipo de modelación se hubiese podido utilizar una malla con otras características por ejemplo de $30 \times 30 \times 30$, esta se adaptaría al tipo de terreno, pero su tiempo de modelación duraría más en ejecutarse, ya que los elementos que lo conforman se evalúan independiente por cada triángulo formado necesitando de un tiempo mayor en el cálculo.

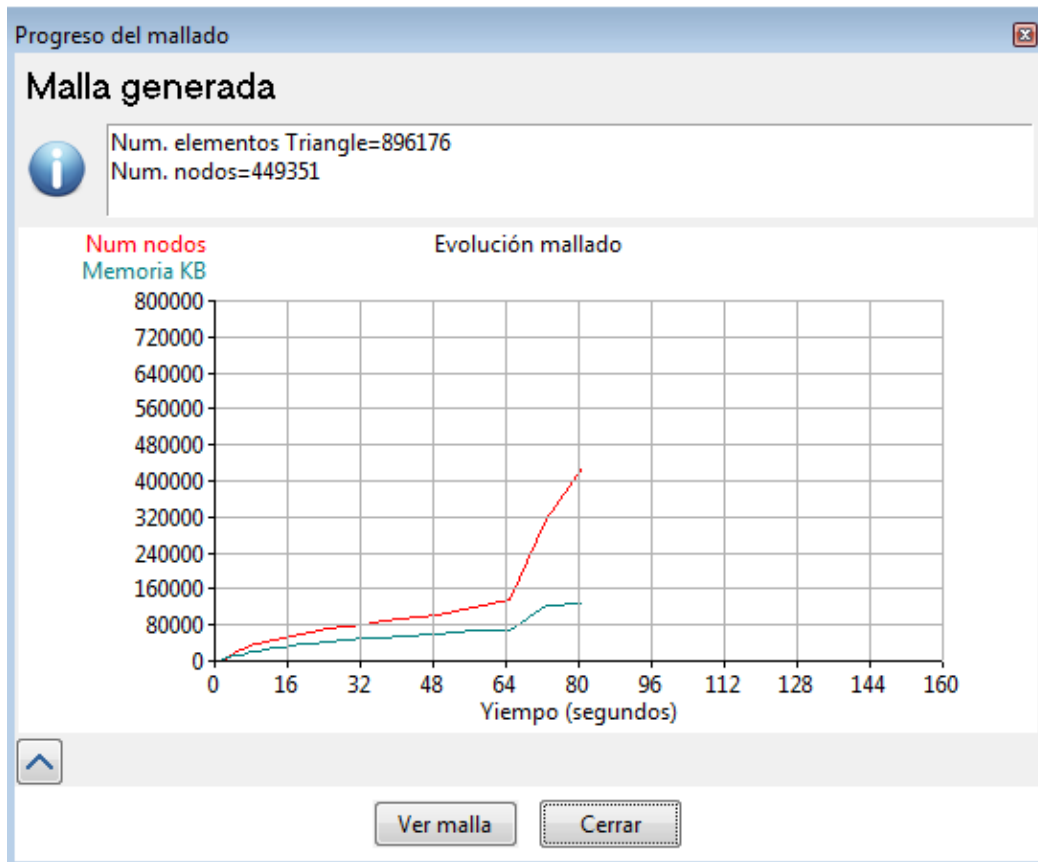
Figura 29. Generación de malla de cálculo



Fuente: (modelación Iber, 2017)

Con la generación de la malla no estructurada, se generan elementos suaves y se identifican los números de elementos triangulares y cuantos nodos se obtienen. Como se evidencia en la Figura 30 se realiza automáticamente la gráfica de capacidad (memoria Kb) vs tiempo (segundos), importante para identificar cuál ha sido el tiempo de generación de la malla y verificar la capacidad que requiere el computador en el cual se está ejecutando el modelo, de este modo saber si se puede realizar o se debe cambiar de equipo, para que con facilidad se genere esta modelación.

Figura 30. Información malla de cálculo



Fuente: (modelación Iber, 2017)

6.1.3.6 PARÁMETROS NUMÉRICOS

Según los parámetros numéricos se pueden obtener resultados estables y con calidad. Los escenarios generados obtienen gran ahorro en los gastos computacionales, ya que el programa utilizado Iber 2D es una plataforma gratuita.

En las simulaciones se determinó un CFL de 0.45 es un dato que se tomó por defecto del programa, adicionalmente se definió un tiempo de simulación de 86400 segundos (24 horas) tiempo que es suficiente para poder identificar la mancha de inundación, con un tiempo aproximado de 10 horas.

De acuerdo al análisis de estabilidad del número de Courant (CFL), una vez revisada la información propuesta por la plataforma Iber, indica que este dato se encuentra en función del tamaño de las celdas, del nivel de agua y la velocidad, sin embargo, este dato puede ser aumentado hasta $CFL < 1$, quiere decir que cuando

más cerca este valor, menos será el tiempo de cálculo y el flujo puede arrojar inestabilidad.

7. PROCESAMIENTO

En este capítulo se presenta la obtención de los resultados de la modelación para los tres escenarios presentados anteriormente. Se realiza una descripción de cada una de las simulaciones. Se indica la estabilidad de la malla de cálculo, dinámicas de inundación, superficie de las laminas de agua y las velocidades de los escenarios propuestos para finalizar la propuesta de alertas tempranas con los resultados obtenidos de amenaza por inundación en Nechí.

Para realizar el análisis de la modelación se estableció la siguiente área de estudio, como se evidencia en la Figura 31, donde se indica el polígono que fue establecida mediante la ubicación de las estaciones hidrológicas y la información de la misma como datos de entrada para la realización del modelo e información del dique nuevo mundo.

Figura 31. Área de estudio



Fuente: (Google earth, 2017)

7.1 MODELACIÓN

En el programa Iber, se realiza el cálculo de la modelación basado en el área activa como se evidencia en el dominio anterior, donde analizando los datos de entrada de los caudales para los ríos Cauca y Nechí se obtiene el nivel de la mancha de inundación y las velocidades. De acuerdo al dominio computacional se considera la salida del agua dentro del mismo, permitiendo tener estabilidad del modelo con el tiempo de la modelación. Respecto a la variación de los caudales de entrada, se

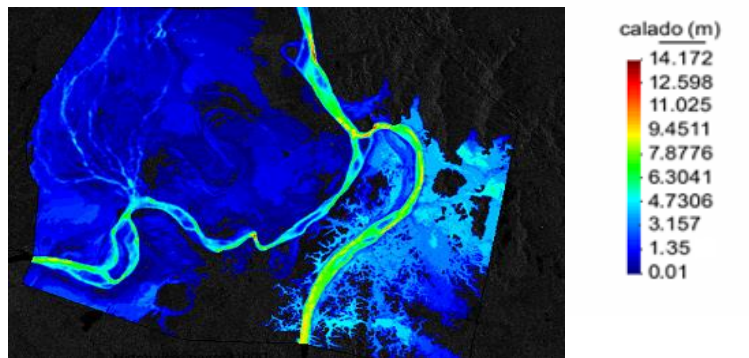
presenta un cambio debido a datos tenidos en cuenta para los diferentes periodos de retorno. La masa del modelo para cada escenario será la sumatoria de todos los caudales introducidos a la modelación.

7.1.1 ANÁLISIS DE MALLA DE CÁLCULO

Se realizó un análisis para la malla de cálculo, con el fin de terminar el tamaño óptimo de la misma que debe emplearse dentro del modelo numérico. En la Figura 32 se presentan los resultados de los niveles de la lámina de agua con un tiempo de simulación de 24 horas, donde con cada modelación se generaron escenarios. La variación de la mancha de inundación en el escenario a), son niveles de lámina de agua entre 1 y 3 metros; con el escenario b) se evidencia niveles entre 1 y 2,50 metros. Como se presenta una diferencia de 0,5 metros, se establece una malla de cálculo de 50X50X50 cm ya que es óptima en el tiempo de analizar la simulación con los diferentes escenarios.

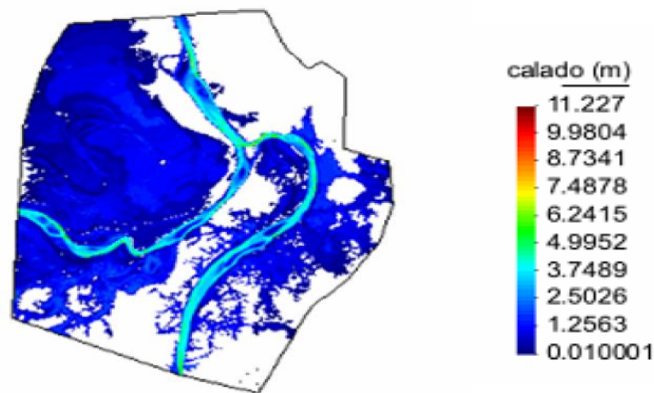
Figura 32. Autonomía de malla

a.



Malla de 30X30X30

b.



Malla de 50X50X50

7.1.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

Ya determinada la malla de cálculo, se realizan las simulaciones para los escenarios presentados a continuación (teniendo en cuenta el Dique sobre el río Cauca y específicamente la zona de nuevo mundo. Posteriormente se realiza la simulación con la información de este Dique (Ancho de corona 6 m y una rugosidad de 0.06). Esta información es llevada al modelo para determinar igualmente los niveles por la macha de inundación y las velocidades obtenidas.

Teniendo en cuenta que esta información se integra para todos los escenarios que se generan con los distintos periodos de retorno. Se evidencia en la Figura 33, como dentro de la simulación creada el modelo computacional contempla este rompedero generando inundación en gran parte de los cultivos de la zona y el corregimiento de Colorado.

Figura 33. Rompedero nuevo mundo

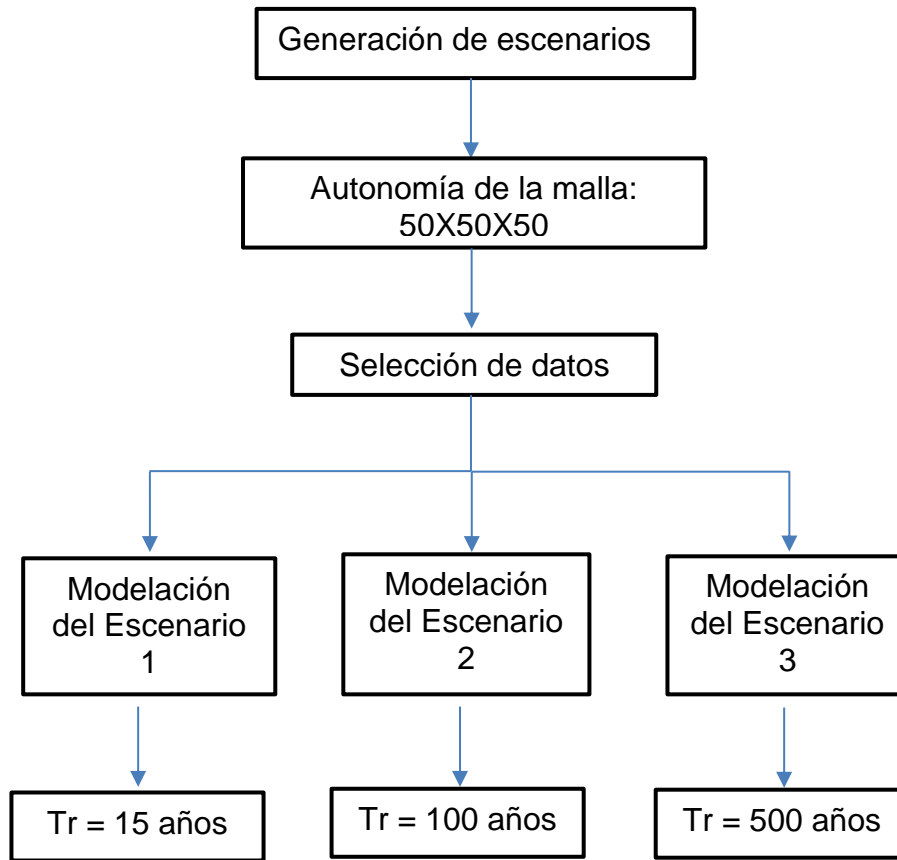


Fuente: (IDEAM, 2015)

7.1.3 DINÁMICAS DE INUNDACIÓN

Ya generada la malla refinada, se empiezan a realizar las simulaciones teniendo en cuenta la información del Dique del río Cauca. De esta manera se generan los siguientes escenarios:

Ilustración 4. Generación de escenarios



Posteriormente, se realiza las simulaciones con los datos mostrados en la Ilustración 4, tenidos en cuenta en la Tabla 4 para llegar a ser analizados los resultados de los niveles de la lamina de agua y las velocidades obtenidas para los escenarios (1,2 y 3).

7.1.4 RESULTADOS DE AGUA ESCENARIO 1

Para iniciar, se presentan los resultados de la elevación de la lámina de agua en el escenario 1 un tiempo de 86400 segundos con un periodo de retorno de 15 años. Posteriormente, se presenta los resultados de la velocidad analizados en 24 horas.

Figura 34. Lamina de agua Tr 15 años sin Dique

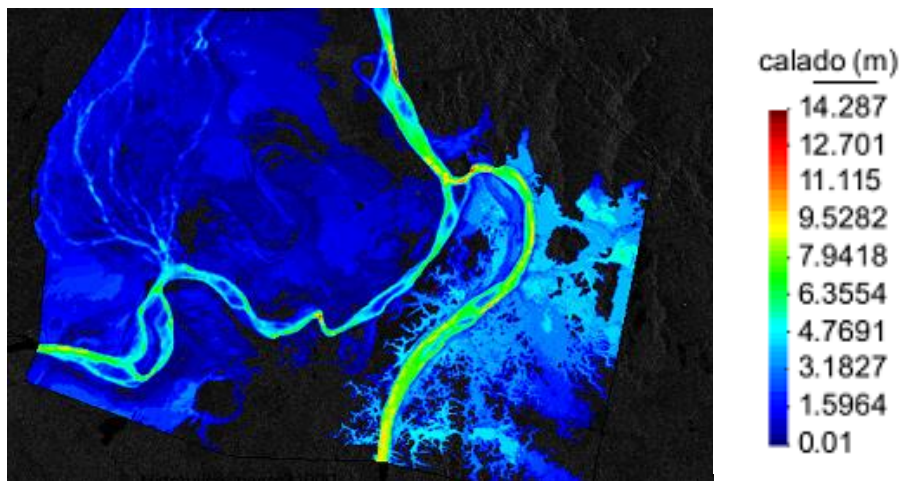
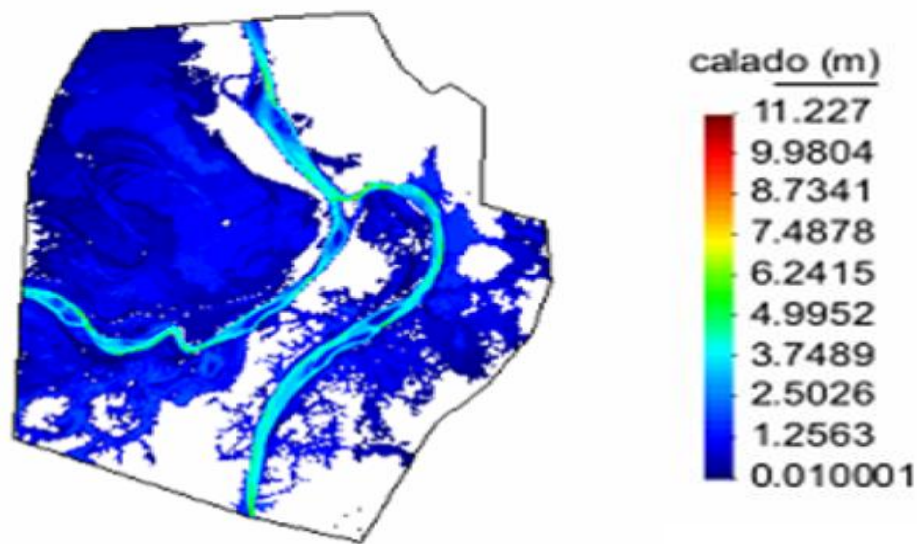


Figura 35. Laminas de agua Tr 15 años



En la Figura 34 y en la Figura 35 se presenta los resultados de la lamina de agua para el primer escenario con variación en el tiempo, utilizando la malla de 50X50X50 en todos los casos y teniendo en cuenta el Dique del río Cauca en la zona de nuevo mundo para el tiempo de 24 horas.

Con la obtención de los resultados se puede indicar que la mancha de la inundación presenta variación en los dos casos, es decir los tiempos utilizados permiten evidenciar el comportamiento de la lamina de agua y ver como en un tiempo estable

se reduce la inundación, ya que como se aprecia en las imágenes los niveles del cauce varían considerablemente, concluyendo que la mancha de inundación tiene un comportamiento importante y parecido a la realidad del territorio, ya que cuando se presentan fuertes lluvias sube el nivel de los ríos y se presentan las inundaciones. Como se evidencia en las figuras, en el área urbana del municipio de Nechí los niveles están entre 1 y 1.30 metros afectados las vías, viviendas e infraestructura de la zona; dentro del área rural los niveles alcanzan niveles de 2 metros, presentándose pérdida de los cultivos de los pobladores.

Es importante indicar que las manchas de inundación se presentan en el área urbana y rural del municipio de Nechí, el corregimiento de Colorado y campo alegre.

❖ Análisis de velocidades

Como se puede observar en la Figura 36 y Figura 37, las velocidades máximas se encuentran en el área rural del municipio de Nechí y los corregimientos de Colorado y Campo Alegre como se evidencia en la zona achurada dentro de las figuras, se obtienen valores entre 0 a 0.87 m/s.

Figura 36. Velocidad Sin Dique

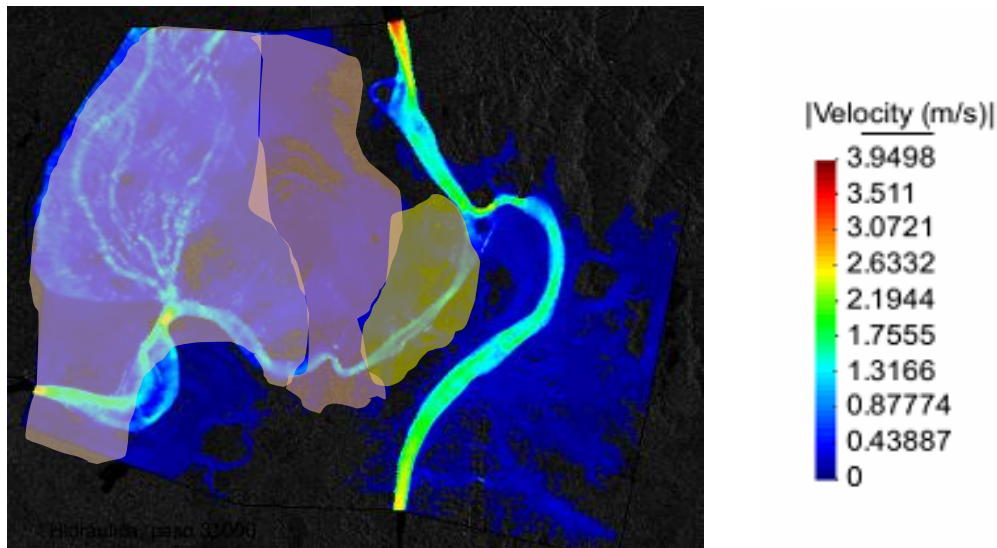
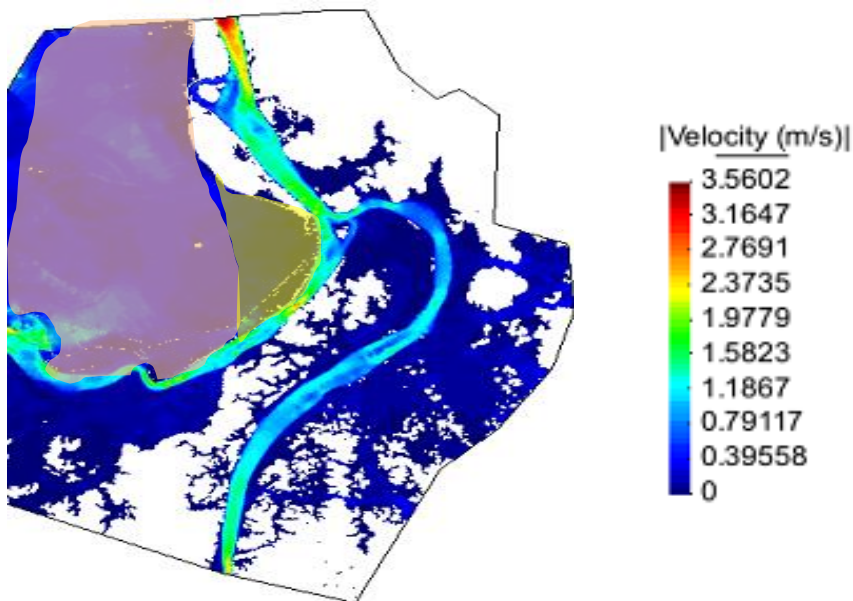


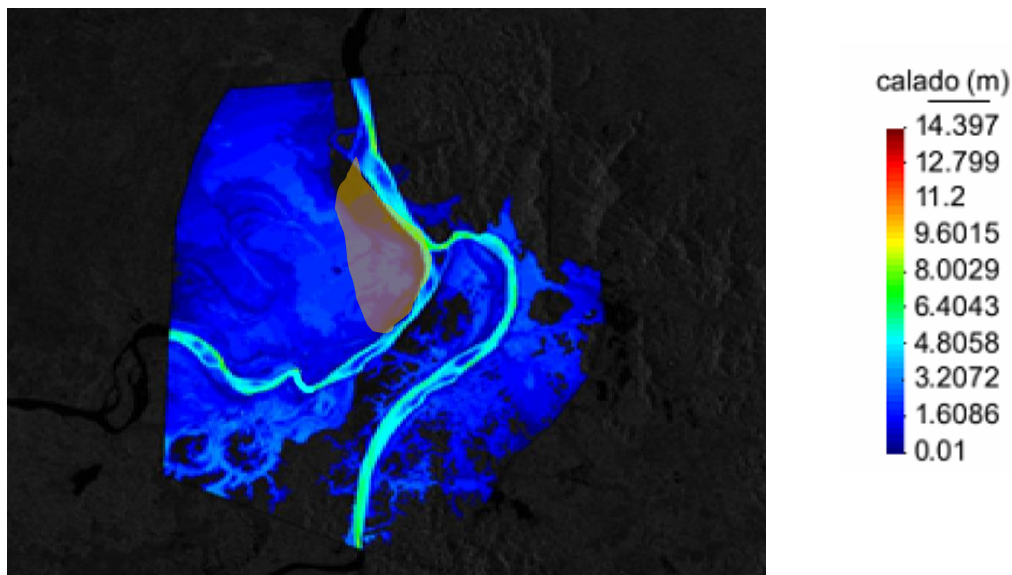
Figura 37. Velocidad Con Dique



7.1.4.1 RESULTADOS DE AGUA ESCENARIO 2

Para iniciar, se presentan los resultados de la elevación de la lámina de agua en el escenario 2 con un periodo de retorno de 100 años. Se presenta los resultados de la velocidad analizados en 24 horas, para ser tenidos en cuenta en los resultados de toma de decisiones.

Figura 38. Lámina de agua Tr 100 años



En la Figura 38 se presenta los resultados de la lamina de agua para el segundo escenario, utilizando la malla de 50X50X50 y teniendo en cuenta el Dique nuevo mundo para el tiempo de 24 horas se realiza la modelación.

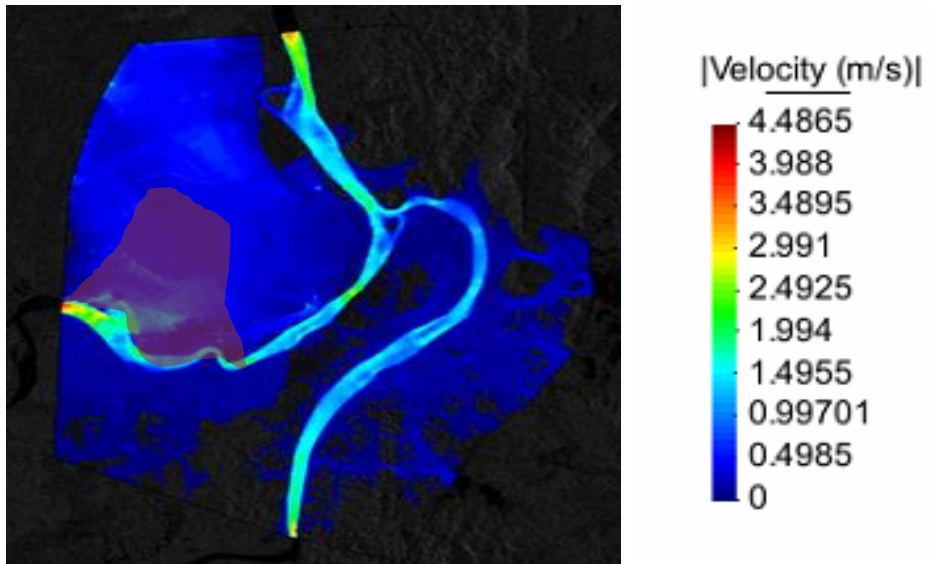
Con la obtención de los resultados se puede indicar que la mancha de la inundación presenta aumento en los niveles de agua en el área urbana del municipio, es decir que con un periodo de retorno de 100 años se permite evidenciar como seria el comportamiento en futuros años con el aumento de los niveles hasta 3.20 metros.

Es importante indicar que las manchas de inundación continuan presentandose en el área urbana y rural del municipio de Nechí.

❖ Análisis de Velocidades

Como se puede observar en la Figura 39, las velocidades máximas se encuentran en el corregimiento de Colorado, presentandose un rompimiento del flujo y ascelerando la velocidad en el dique ubicado en esta zona, alcanzando una velocidad aproximada entre 1.49m/s y 2,49 m/s.

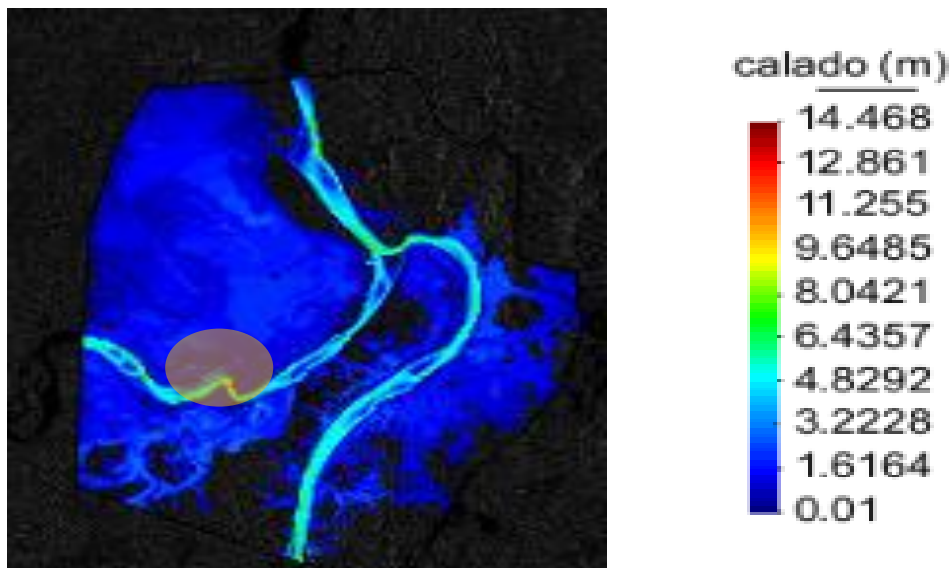
Figura 39. Velocidad Tr 100 años



7.1.4.2 RESULTADOS DE AGUA ESCENARIO 3

Para iniciar, se presentan los resultados de la elevación de la lámina de agua en el escenario 2 con un periodo de retorno de 500 años. Posteriormente, se presenta los resultados de la velocidad analizados en 24 horas, para ser tenidos en cuenta en los resultados de toma de decisiones.

Figura 40. Lámina de agua Tr 500 años



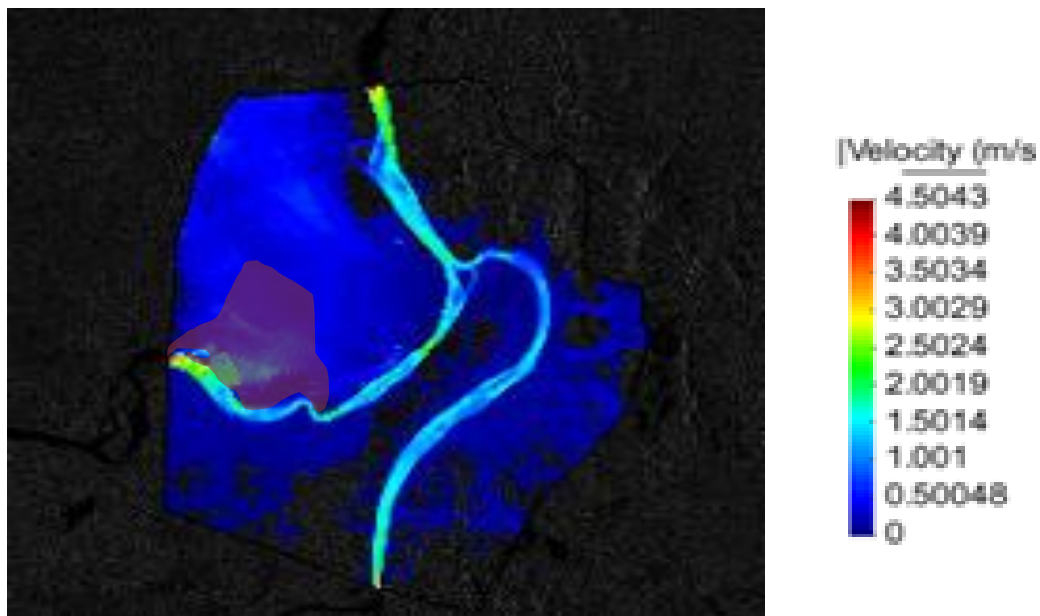
En la Figura 40 se presenta los resultados de la lamina de agua para el tercer escenario, utilizando la malla de 50X 50X50 y teniendo en cuenta el Dique nuevo mundo para el tiempo de 24 horas se realiza la modelación.

Con la obtención de los resultados se puede indicar que la mancha de la inundación presenta aumento en los niveles de agua, es decir que con un periodo de retorno de 500 años, se permite evidenciar como seria el comportamiento en futuros años con el aumento de los niveles. Si es importante indicar que en la zona de Nuevo Mundo, se presenta un aumento en el nivel aproximadamente del cauce aproximado de 11 metros, por lo que si es importante tener en cuenta este dato para poder tomar decisiones para futuros eventos.

La determinación de las manchas de inundación se presentan en el área urbana y rural del municipio de Nechí y fuertemente en corregimiento de Colorado, donde se presenta un aumento en el nivel de la mancha de inundación dentro del cauce y que pueda ocurrir un aumento en el territorio hasta de 3,22 m.

❖ Análisis de Velocidades

Figura 41. Velocidad de 500 años



En la Figura 41, las velocidades máximas se encuentran en el área rural del municipio de nechí y los corregimientos de Colorado, presentandose un rompimiento del flujo y asclerando la velocidad en el dique de nuevo mundo, con una velocidad de 1.50m/s.

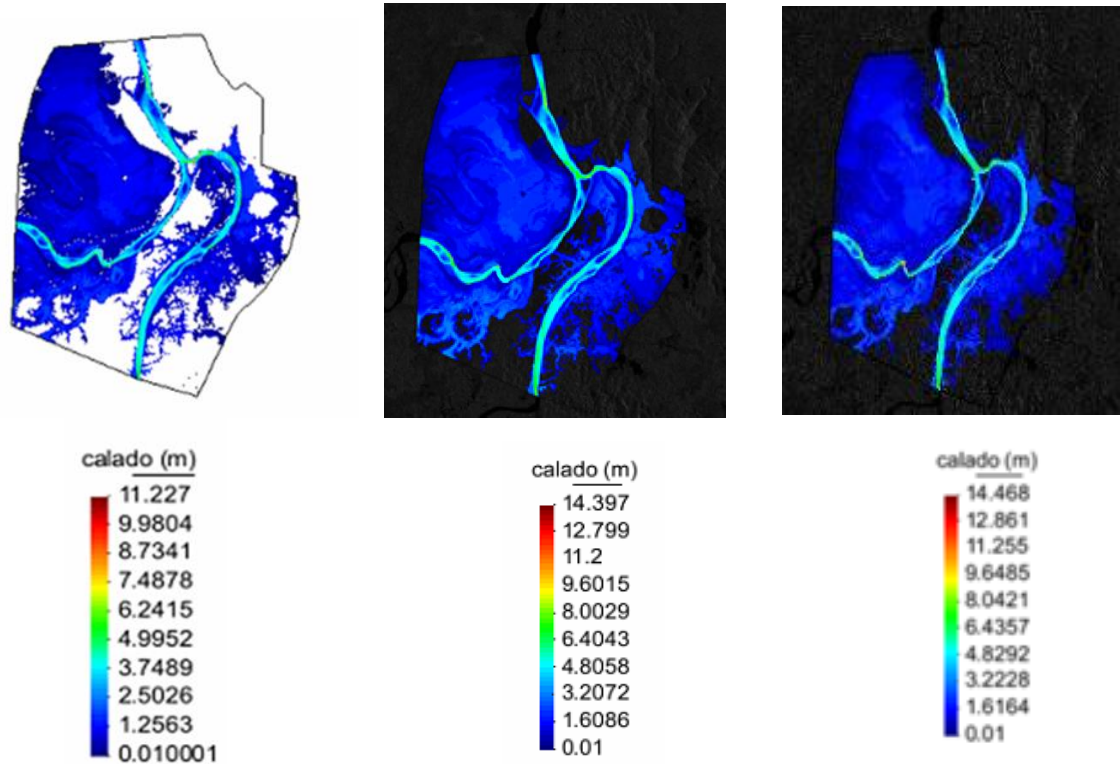
7.1.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Figura 42. Comparación de resultados nivel de agua

a. 15 años

b. 100 años

c. 500 años



De las gráficas anteriores se puede evidenciar como es la variación de las alturas de la lámina de agua propuestas para cada periodo de retorno. En la Figura 42 a, se identifica la lámina de agua para el municipio de Nechí y el corregimiento de colorado con un periodo de retorno de 15 años, valores que son evaluados a corto plazo ya que según los registros se los últimos años indican que los niveles son de 2 metros. Esta información obtenida es comparada en la visita de campo realizada por la ingeniera Paula Villegas en el año 2014, donde los habitantes de Nechí indicaban que los niveles de agua oscilaban entre 1 a 2 metros.

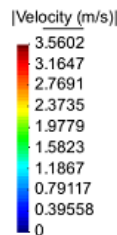
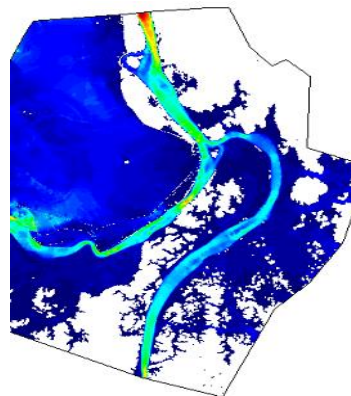
Para los periodos de retorno de 100 y 500 años como se evidencia en la Tabla 10. Análisis de resultados, los niveles de la lámina de agua pueden llegar a los 3.20 y 3.22 m, indicando como el periodo de retorno de 500 años presenta un aumento en el nivel del cauce entre 2 cm, comparado con el periodo de retorno de 100 años.

Tabla 10. Análisis de resultados

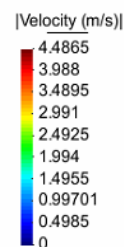
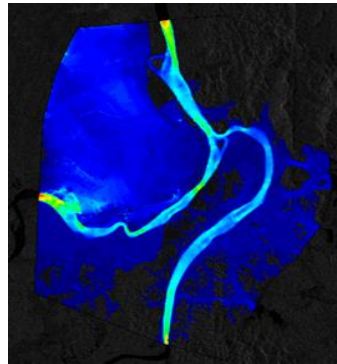
| 15 años | 100 años | 500 años |
|---------|----------|----------|
| Lamina | Lamina | Lamina |
| 0,01001 | 0,01 | 0,01 |
| 1,2 | 1,6086 | 1,6164 |
| 2,5 | 3,2072 | 3,33 |
| 3 | 4,8058 | 4,8292 |
| 4,99 | 6,4043 | 6,4357 |
| 6,24 | 8,0029 | 8,0421 |
| 7,4 | 9,6015 | 9,6485 |
| 8,7 | 11,2 | 11,255 |
| 9,9 | 12,799 | 12,86 |
| 11 | 14,397 | 14,468 |

Figura 43. Comparación de resultados de velocidad

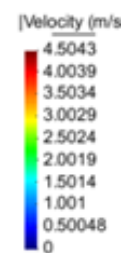
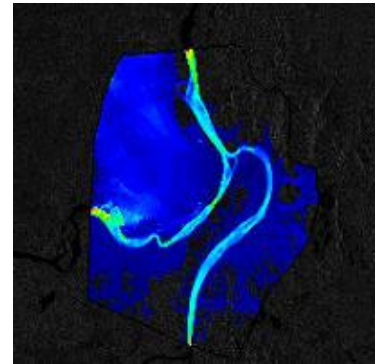
a. 15 años



b. 100 años



c. 500 años



En la Figura 43, se realiza la comparación de los resultados de las máximas velocidades obtenidas en el modelo, teniendo en cuenta el dique de la zona de nuevo mundo, con datos entre los 0,39 a 0.70 m/s para un periodo de 15 años. Para los periodos de retorno de 100 y 500 años velocidades de 0.49 m/s, 0.50 m/s y 0.99 m/s y 1 m/s.

8. ANÁLISIS PARA LA TOMA DE DECISIONES DE ALERTAS TEMPRANAS

Es importante conocer sobre un sistema de alerta temprana (SAT), ya que es un procedimiento por el cual se puede monitorear una amenaza o algún evento que pueda generar riesgo natural o antropológico, generando mecanismos de reducción de riesgos y preparación para desastres, protegiendo las vidas de las personas que se encuentran frente a un riesgo (UNGRD, 2016).

Durante muchos años el municipio de Nechí ha tenido que sobrevivir a las crecientes y desbordamientos de los ríos Nechí y Cauca, debido a las fuertes inundaciones, han perdido producciones agropecuarias, viviendas y estabilidad en el municipio (Municipal, 2015). Sin embargo, aunque la zona cuenta con estructuras de ingeniería como el dique en el corregimiento de Colorado, no es suficiente para contener las crecientes del río, por eso el presente análisis pretende encontrar lineamientos para generar alertas tempranas en la zona y ayudar a solucionar.

Con los resultados del modelo y con la información de la visita de campo realizada por la Ingeniera Paula Andrea Villegas en el año de 2014, se presenta un conjunto de alternativas para la toma de decisiones bases de un sistema de alertas tempranas, teniendo en cuenta los niveles de la mancha de inundación.

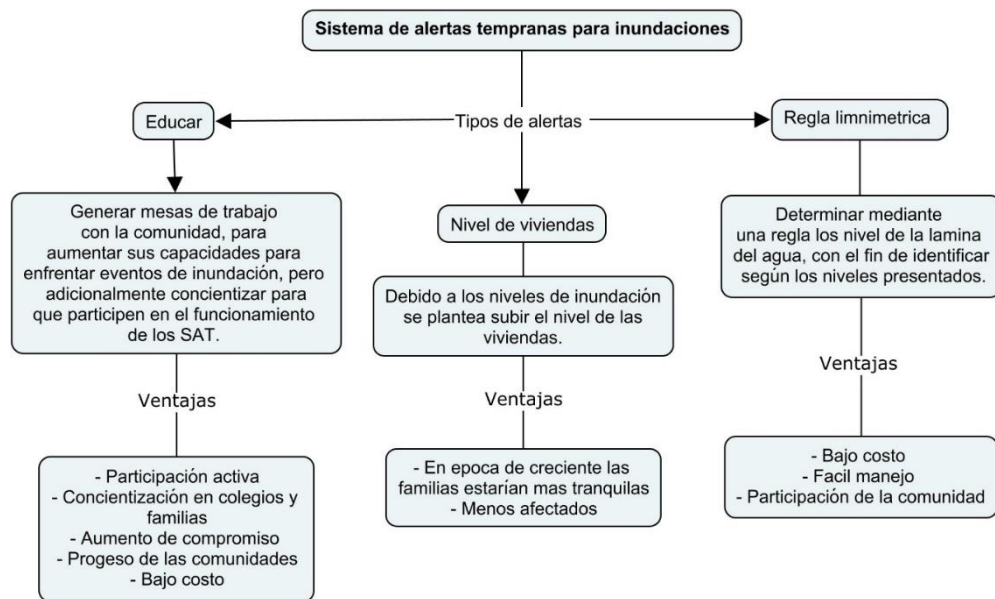
Según los datos obtenidos con la variación de los períodos de retorno se plantea alternativas a de mediano y largo plazo, donde se reconozca con la información de la mancha de inundación zonas de estudio que permitan tomar decisiones dentro el territorio.

En los últimos meses el país enfrente una fuerte ola invernal en distintos Departamentos, presentándose pérdida de vidas, naturales y materiales. Según un informe especial por desbordamiento del río Cauca y Nechí emitido por la Gobernación de Antioquia, el pasado mes de mayo se declaró calamidad pública en el municipio con una afectación a “10.710 personas”, de la zona urbana y rural. Por esta razón investigaciones como la presente, que se plantean lineamientos de alertas para la toma de decisiones en el territorio (Prensa Colombia, 2017).

Es importante indicar que el objetivo de un sistema de alertas tempranas es evitar que exista la posibilidad de lesiones o pérdidas de vida de las personas, inmuebles o al medio ambiente. Por esto es indispensable generar planes para la gestión del riesgo, que permitan la toma de decisiones en momentos de alerta.

Basados en el estudio realizado se plantea las siguientes estrategias para alertas tempranas, evidenciado en la Ilustración 5.

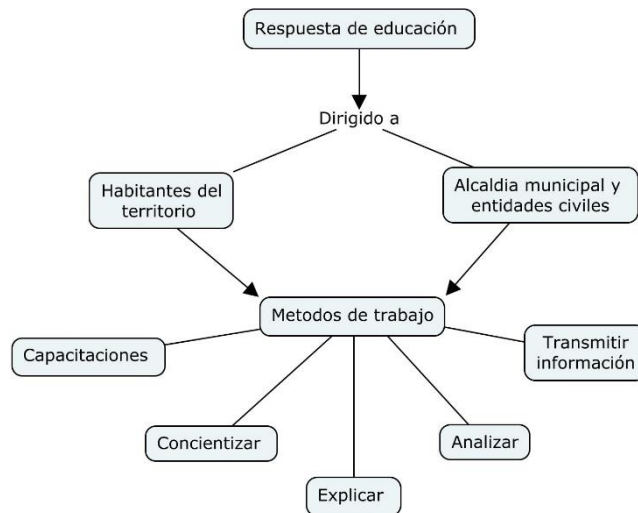
Ilustración 5. Respuesta sistemas de alertas



Con la ilustración anterior se presenta la descripción de cada una de las respuestas para la implementación del sistema de alerta temprana.

8.1 EDUCAR

Ilustración 6. Respuesta de educación



Una vez conocida la información de la mancha de inundación, los niveles de la lámina de agua y las zonas afectadas, se plantea poder acercarnos a los ciudadanos. Por esta razón se tiene como finalidad plantear metodologías de trabajo como los de la Ilustración 6, realizando un trabajo social capacitando a los habitantes y a las entidades municipales, de cómo se debe actuar en momento de inundación y cuáles son los niveles de agua a los que se llegaría en época de lluvia, además de cómo se debe ayudar al municipio para que se prepare y se evite catástrofes humanas.

Por esta razón se plantea lo siguiente:

- Trabajo con la alcaldía y entidades civiles.
- Trabajo social con la comunidad.
- Trabajo con las entidades educativas.

Con base en la información anterior es necesario contar con la participación activa de toda la comunidad, ya que una vez realizadas las actividades, los habitantes estarían preparados para transmitir la información y emitir una respuesta, que les permita actuar en caso de que se presente algún evento.

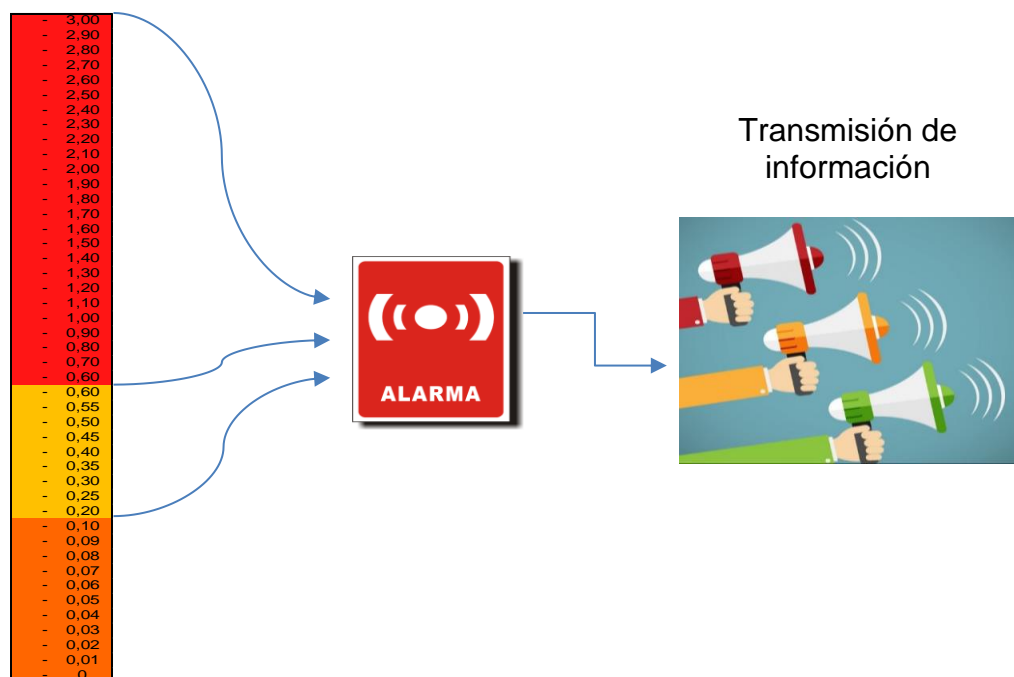
8.2 REGLA DE MEDICIÓN

La instalación de la regla de medición consiste en la lectura, registro y análisis de los datos. Por esta razón se definió una escala de la regla según los datos encontrados mediante la modelación para un período de retorno de 15 años y un tiempo de 24 horas. Datos que son a corto tiempo, permitiendo tomar medidas inmediatas para que no ocurran mas acontecimientos y se tomen las decisiones adecuadas en caso de emergencias o evacuaciones.

De acuerdo con la Figura 44 se indica la implementación de la regla que consiste en la medición del nivel del río Cauca, estas reglas serán colocadas en puntos estratégicos en el borde de los ríos y en los postes del área urbana y el corregimiento de Colorado donde se evidenció el rompimiento del Dique nuevo mundo.

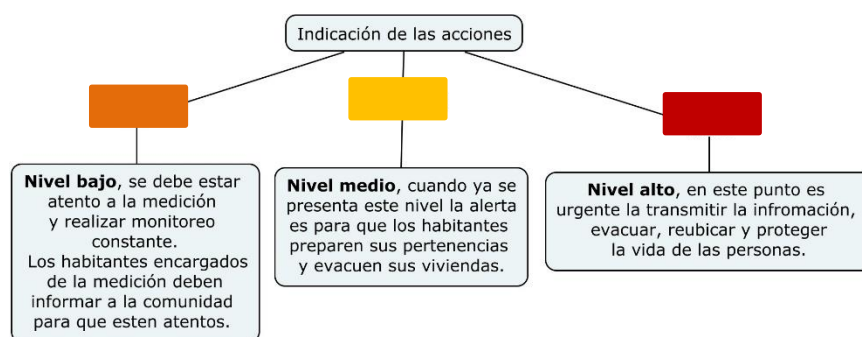
Esta regla tendrá registros y un sensor en cambio de color como se indica en la Ilustración 7. Alertas que procesa automáticamente este cambio generado por el sensor alertando a los habitantes. La regla es de bajo costo, y permite tener el personal comprometido ya que se piensa en todos los habitantes del municipio, es necesario realizar constante vigilancia y tomar los datos de los niveles de agua. Con ayuda de los habitantes se permiten los monitoreos constantes.

Figura 44. Regla de medición



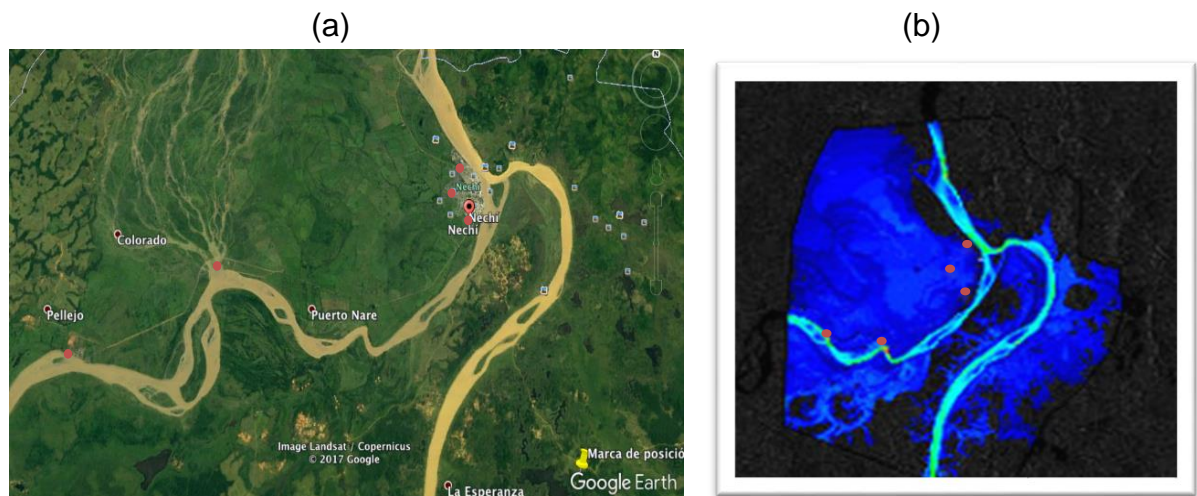
Estos datos que arroja la medición son categorizados según el color y se clasifica según la Ilustración 7 para generar acciones, que se indica a continuación.

Ilustración 7. Alertas



Teniendo en cuenta la información obtenida con la modelación y una vez analizados los niveles de la mancha de inundación, se presenta la ubicación de las reglas limnimétricas, para este caso se plantea la ubicación en el área urbana del municipio de Nechí, en la zona de nuevo mundo y el corregimiento de Colorado. Como se evidencia en la Figura 45a, esto con el fin de tener monitoreado el municipio y los corregimientos donde se encuentra gran parte de los habitantes y los cultivos. Se permite tener controlado también el rompedero de nuevo mundo, ya que allí como se evidencia en la Figura 45b, es donde se presentan los más altos niveles de agua. De este modo, se permite el control de las zonas que más sufren la inundación.

Figura 45. Ubicación de las reglas de medición



8.3 VIVIENDAS PALAFÍTICAS

Debido a los altos niveles de inundación que se presenta en épocas de lluvia y son afectadas las viviendas de las familias, se propone una alternativa. Aunque se sabe que los costos iniciales son altos, con ayuda del Gobierno Nacional, la Gobernación de Antioquia y algunas entidades nacionales se pueden conseguir recursos financieros para la construcción de viviendas palafíticas, ayudando a generar tranquilidad y comodidad a los habitantes. En el año 2016 el fondo de adaptación entregó viviendas adaptadas al cambio climático, como la que se evidencia en la Figura 46, siendo un ejemplo para implementar dentro del territorio.

Figura 46. Viviendas paratíficas



fuelle: (Fondo de Adaptación, 2016)

Figura 47. Ubicación de viviendas



Fuente: (Google Maps, 2017)

Con la información obtenida de la mancha de inundación se plantea, la ubicación de nuevas viviendas, como se evidencia en la Figura 47, donde se proyecta un polígono aproximado de 950 m². Esta área contiene varias viviendas como las presentadas en la imagen anterior, que no cuentan con una elevación considerable que puedan evitar la inundación.

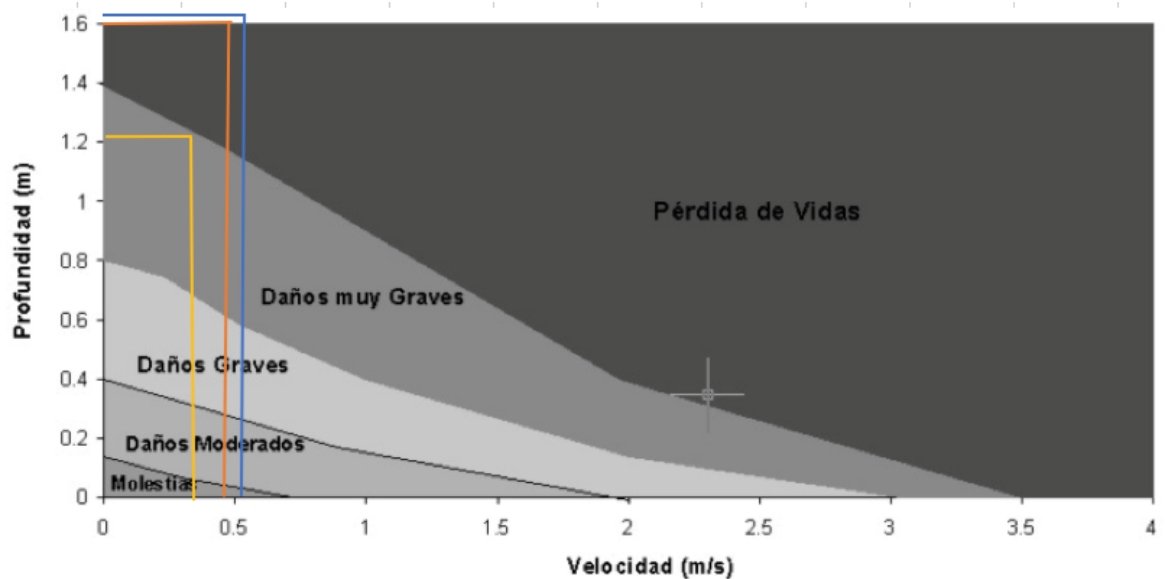
De este modo se plantea según las elevaciones obtenidas en la modelación, una altura entre 1 y 1.5 m de las viviendas, estos datos seguramente puede variar, cuando se platee la ejecución del proyecto. Se busca que los nuevos hogares superen las condiciones de habitabilidad y mejoren sus condiciones de vida.

Este proyecto se debe complementar con programas y estrategias para el manejo adecuado de las viviendas y de socialización de las zonas de inundabilidad.

8.4 ANÁLISIS DE AMENAZA




Con base en la información obtenida de los resultados en la modelación de mancha de inundación, se realiza la investigación según lo planteado por (Smith et al., 2004), donde se realiza un análisis de amenaza por inundación. Se indica que con los períodos de retorno de 100 años se puede determinar el retiro hidrológico y 500 años se define cuales zonas presentan restricción del uso del suelo, de este modo, según las características del modelo de velocidad y profundidad de flujo se analiza los resultados teniendo en cuenta la Ilustración 8, para finalmente poder evaluar la amenaza del evento natural por inundación.

Ilustración 8. Análisis de amenaza



Fuente: (Jaime Velez, et al., 2004)

Según los resultados obtenidos clasificados por colores para periodos de retorno de 500 años, 100 años y 15 años, se obtiene lo siguiente:

-  Período de retorno 500 años
-  Período de retorno de 100 años
-  Período de retorno de 15 años

Con la información obtenida para el análisis por amenaza, se identifica como en los períodos de retorno de 500 y 100 años con las velocidades obtenidas y las profundidades mayores a 1.6 m, se generarían pérdida de vidas a causa de la inundación y en un período de retorno de 15 años los daños serían muy graves, como por ejemplo en las viviendas, vías y en general dentro del territorio.

El análisis de amenaza consiste en identificar la importancia del estudio de un territorio con variación en distintos periodos de retorno, donde se permite conocer con las manchas de inundación la zona de restricciones por la amenaza hidrológica. Las entidades territoriales podrían plantear un uso adecuado para el suelo ya que lo que se busca con estas investigaciones es que se pueda generar desarrollo dentro de las comunidades y se genere bienestar para los habitantes de la zona.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

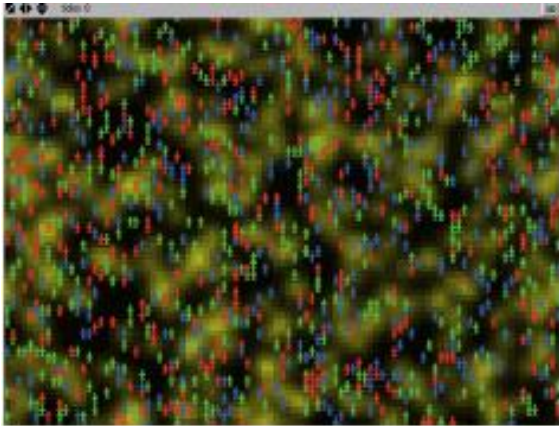
- Se realizó la caracterización de la ecoregión de la Mojana, específicamente en el municipio de Nechí en el Departamento de Antioquia; teniendo en cuenta como referencia los aspectos ambientales, geográficos y sociales. Conociendo variables del modelo donde se realiza el análisis de la mancha de inundación.
- Se logró identificar la importancia de la modelación hidrodinámica ya que se estudia el comportamiento de los cauces mediante el uso de tecnologías modernas en modelación numérica. En este caso con la ayuda de la plataforma Iber se generaron tres escenarios, donde se propone realizar un cambio en las condiciones iniciales y recrear más escenarios de simulación que permitan la generación de nuevos resultados que puedan ser tenidos en cuenta para las estrategias del sistema de alertas tempranas.
- Según los datos obtenidos se pudo observar cómo afecta la inundación al municipio de Nechí. Obteniendo las manchas de inundación, con velocidades promedio son 0.6m/s y con alturas entre 1m y 3m. Esto puede ser insumo para la alcaldía del municipio ya que tienen una cota aproximada de la altura promedio que se puede llegar a tener en Nechí por eventos de inundación y con ello lograr desarrollar proyectos para la toma de decisiones, generando además un avance en la construcción de infraestructura.
- Se determina la mancha de inundación del municipio de Nechí, generando la modelación en el programa de Iber 2D. Sin embargo, se encontraron problemas con el manejo de la plataforma del programa, dado que no se conoce el código y no se tiene un tutorial detallado sobre su manejo. Finalmente se logró generar los resultados para la determinación de niveles de inundación y velocidades.
- Como trabajo futuro se proyecta una modelación hidrodinámica teniendo en cuenta un dominio mayor que permita visualizar mejor los resultados del municipio. Adicionalmente, generar mapas de inundación que sirvan como base en la toma de decisiones y socialización con los habitantes del municipio de Nechí, permitiendo aportar información a los planes de ordenamiento territorial de los municipios.
- Se plantea generar un análisis con más periodos de retorno para determinar futuros eventos que podrían ocurrir con el cambio de los años y así tener cuenta la variación de la mancha de inundación del territorio.

- Se propone realizar la modelación hidrodinámica en conjunto con los sistemas de agentes, para ver la integración de estos con la mancha de inundación, generando mayores escenarios para ampliar el análisis de la información del territorio.
- Con los lineamientos generados para la toma de decisiones, se pretende poder realizar un trabajo social teniendo en cuenta aspectos de ingeniería, llegando a los habitantes del municipio para poder participar con proyectos como estos que permiten capacitar a las personas y concientizarlos para generar compromiso ante eventos de inundación dentro del territorio.
- Es recomendable trabajar con los datos obtenidos de los niveles de la lámina de agua, ya que permiten conocer la realidad de la zona y es investigación que permite la toma de decisiones dentro del municipio, realizándose un trabajo de campo para conocer la zona de estudio. De esta manera puede hacerse una integración con los habitantes del territorio, y conocer información que permita fortalecer los lineamientos para el sistema de alertas tempranas.
- Finalmente es importante indicar que cuando se va a realizar este tipo de trabajos, se debe tener buenos antecedentes para el caso de estudio. Ya que es importante realizar visitas de campo y conocer bien el entorno que se quiere modelar.
- Es importante socializar el funcionamiento de los SAT, ya que se articulan en la estrategia de respuesta del municipio, generando apoyo a las entidades municipales y en los procesos comunitarios necesarios para la implementación y funcionamiento del SAT.

TRABAJO FUTURO

Basados en el documento (Y. Alejandra Caicedo P., 2015), donde se realizó una simulación con sistemas de agentes en la ecoregión de la Mojana. Conocida la información y la caracterización del territorio se obtienen resultados de cómo los agentes interactúan dentro de una zona, permitiendo así realizar el análisis de las dinámicas territoriales, ya sea en temas de infraestructura, salud, riesgos y demás. Realizando una planeación apropiada y acorde con las necesidades y comportamientos de los individuos en la zona.

Figura 48. Simulación con agentes



De acuerdo a lo anterior y conociendo la información de caracterización se genera la modelación hidrodinámica del territorio.

De este modo se plantea a futuro poder realizar el análisis de Se propone generar la modelación hidrodinámica acompañada de los sistemas de agentes, para ver la integración de los agentes con la mancha de inundación, generando mayores escenarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía municipal de Nechí. (2017). Información general. Retrieved March 6, 2017, from http://www.nechí-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml.
- Caicedo-Paez Y. A., Gómez R.A. (2015). Simulación con sistemas de agentes en la ecoregión de la Mojana.
- CEPAL. (2012). Valoración de daños y pérdidas ola invernal en Colombia 2010-2011, 240.
- Córdoba, P. De, Ochoa, S., Reyna, T., Reyna, S., García, M., Labaque, M., & Díaz, M. (2016). Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctlamochita, Provincia de Córdoba., 3(2), 95–101.
- Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca. (2014). Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrograficas.
- DANE. (2016). Ficha Municipal DNP - Nechí. Retrieved March 6, 2017, from http://www.dane.gov.co/index.php/component/search/?searchword=ficha_municipal_nechi&ordering=newest&searchphrase=all&limit=20.
- DANE. (2005). Censo general. Retrieved March 22, 2017, from <http://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/antioquia/nechí.pdf>.
- Fondo de Adaptación. (2013). Modelación hidrodinámica de la Mojana.
- Iber. (2014). Modelación bidimensional del flujo en lamina libre en aguas poco profundas. Retrieved from <http://iberaula.es/formacion/formacion>.
- Jaime I. Vélez, Ricardo A. Smith, Claudia C. Rave, Humberto Caballero, Veronica Botero, D. E. (2004). Evaluación de riesgos en cuencas urbanas.
- Municipal, A. (2015). Plan de desarrollo del municipio de Nechí. Retrieved March 15, 2017, from http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos_PDF/nechíantioquiapd2012-2015.pdf.
- Naciones Unidas. (2005). Productos Quimicos. Retrieved April 12, 2017, from https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11494/Spanish_UN_EP_Hg_inventory_toolkit.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Nechí, M. de. (2000). Esquema de ordenamiento territorial.
- Maskrey, A. (1998). La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo de America Latina. Navegando entre brumas.
- States, U., & Printing, G. (1969). Roughness characteristics of natural channels. *Journal of Hydrology*, 7(3), 354. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(69\)90113-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(69)90113-9).
- Torres-Bejarano, F., Padilla Coba, J., Rodríguez Cuevas, C., Ramírez León, H., & Cantero Rodelo, R. (2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo Y Diseño En Ingeniería*, 32(3), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2015.04.001>.
- UNGRD. (2016). Guia para la implementación de un sistema de alertas tempranas.
- Villegas-González, P. A. (2014). Salida de campo.
- Villegas-González, P. A., Ramos-Cañón, A. M., González-Méndez, M., González-Salazar, R. E., & De Plaza-Solórzano, J. S. (2017). Territorial vulnerability assessment frame in Colombia: Disaster risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.01.003>.